

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-252418

(43)Date of publication of application : 06.09.2002

(51)Int.Cl.

H01S 5/183

G02B 6/42

H01S 5/022

H01S 5/343

H01S 5/40

(21)Application number : 2001-051265

(71)Applicant : RICOH CO LTD

(22)Date of filing : 26.02.2001

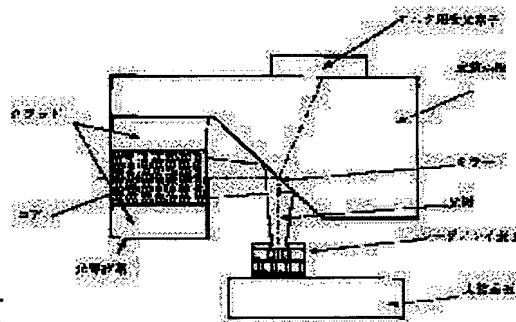
(72)Inventor : SUZUKI YUKIE  
 SAKURAI AKIRA  
 KATO MASAYOSHI  
 FURUTA TERUYUKI  
 MIYAGAKI KAZUYA  
 KANAI TAKESHI  
 WATADA ATSUYUKI  
 SATO SHUNICHI  
 SUGAWARA SATORU  
 HIKIJI SHUICHI  
 SEKIYA TAKURO  
 SATO SHINJI

## (54) OPTICAL COMMUNICATIONS SYSTEM

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide an optical communications system that branches light large enough to control an optical output of a semiconductor laser to a light-receiving device for monitoring, stabilizes the optical output, and has high reliability and high efficiency.

**SOLUTION:** A laser chip is a surface light-emitting type semiconductor laser device chip that has an oscillation wavelength of 1.1  $\mu\text{m}$  to 1.7  $\mu\text{m}$  and a resonator structure including a reflector provided on top and bottom parts of an active layer to produce laser light. The reflector is a semiconductor distributed Bragg reflector in which material layers constituting the reflector have refractive indexes changing periodically between a small value and a large value and reflect entering light by optical wave interference. The material layer having a small refractive index contains  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $0 < x \leq 1$ ) and the material layer having a large refractive index contains  $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$  ( $0 \leq y < x \leq 1$ ). Here, the optical output of the semiconductor laser is controlled by the use of the output of the light-receiving device for monitoring. In a branching means for branching the optical output, a light transmittance in a usable wavelength band is not less than 1% and not more than 50% and there are provided a plurality of independent light-receiving devices.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

02.03.2005

[Date of sending the examiner's decision of

## \* NOTICES \*

JPO and NCIPI are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

CLAIMS

---

## [Claim(s)]

[Claim 1] A branching means to branch the laser beam which carried out outgoing radiation from the laser chip and this laser chip, In the optical transmission system containing the optical fiber as an optical transmission line or optical waveguide which is carrying out optical coupling to the this branched laser beam, and the photo detector which carries out the monitor of the laser beam of branched another side Said laser chip the barrier layer in which oscillation wavelength is 1.1 micrometers - 1.7 micrometers, and generates light The layer which a main element becomes from Ga, In, N, and As, or Ga, In, It is the surface-emitting type semiconductor laser component chip which has the resonator structure containing the reflecting mirror formed in the upper part and the lower part of said barrier layer in order to consider as the layer which consists of As and to obtain a laser beam. While the refractive index of the ingredient layer which constitutes it is the semi-conductor distribution Bragg reflection mirror which changes periodically with smallness/size and reflects incident light by the interference of light wave, said reflecting mirror Said refractive index sets the ingredient layer of smallness to  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $0 < x \leq 1$ ). Said refractive index is the reflecting mirror which set the adult ingredient layer to  $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$  ( $0 \leq y < x \leq 1$ ). And it is the optical transmission system with which said refractive index made the surface-emitting type semiconductor laser component chip which comes to prepare ingredient layer  $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$  ( $0 \leq y < z < x \leq 1$ ) to which this refractive index takes smallness and the value of an adult between between smallness and an adult ingredient layer the luminescence light source. The optical transmission system characterized by controlling the optical output of semiconductor laser using the output of said photo detector for monitors.

[Claim 2] A branching means to branch the laser beam which carried out outgoing radiation from the laser chip and this laser chip, In the optical transmission system containing the optical fiber as an optical transmission line or optical waveguide which is carrying out optical coupling to the this branched laser beam, and the photo detector which carries out the monitor of the laser beam of branched another side Said laser chip the barrier layer in which oscillation wavelength is 1.1 micrometers - 1.7 micrometers, and generates light The layer which a main element becomes from Ga, In, N, and As, or Ga, In, It is the surface-emitting type semiconductor laser component chip which has the resonator structure containing the reflecting mirror formed in the upper part and the lower part of said barrier layer in order to consider as the layer which consists of As and to obtain a laser beam. While the refractive index of the ingredient which constitutes it is the semi-conductor distribution Bragg reflection mirror which changes periodically with smallness/size and reflects incident light by the interference of light wave, said reflecting mirror Said refractive index sets the ingredient of smallness to  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $0 < x \leq 1$ ). Said refractive index is the reflecting mirror which set the adult ingredient to  $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$  ( $0 \leq y < x \leq 1$ ). The surface-emitting type semiconductor laser component chip which comes to prepare the nonluminescent recombination prevention layer which consists of GaInP or GaInPAs between said barrier layers and said reflecting mirrors is made into the luminescence light source, and it is an optical transmission system. The optical transmission system characterized by controlling the optical output of semiconductor laser using the output of said photo detector for monitors.

[Claim 3] The optical transmission system according to claim 1 or 2 characterized by making light transmittance in a use wavelength range 50% or less 1% or more in a branching means to branch the optical output from said semiconductor laser.

[Claim 4] Said branching means is an optical transmission system according to claim 1 or 2 characterized by making some mounting substrates which fix an optical fiber or optical waveguide.

[Claim 5] Said semiconductor laser is an optical transmission system given in any 1 term of claims 1-4 characterized by being the branching means which is the structure where said branching means was formed in them in common while it consisted of two or more independent light emitting devices and an optical fiber or optical waveguide, and the photo detector for monitors also had more than one independently corresponding to it.

[Claim 6] Said branching means is an optical transmission system given in any 1 term of claims 1-3 characterized by being formed in a front face or it is a part of photo detector.

[Claim 7] Said branching means is an optical transmission system given in any 1 term of claims 1-3 characterized by being formed in the end face of an optical fiber or waveguide.

---

[Translation done.]

\* NOTICES \*

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

DETAILED DESCRIPTION

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention forms two or more laser components perpendicularly using the so-called surface emission-type laser which emits light to the semi-conductor substrate side used for manufacture as semiconductor laser especially about the semiconductor laser used for optical communication etc., and its optical transmission system, and relates to the optical transmission system which enabled the mass communication link.

[0002]

[Description of the Prior Art] Since field luminescence semiconductor laser emits a laser beam perpendicularly from the front face of a substrate, two-dimensional juxtaposition accumulation is possible for it, association with an optical fiber is easy for it at one with the comparatively narrower (before or after 10 degrees) still angle of divergence of the output light, and also it has the description that inspection of a component is easy. Therefore, development is briskly performed as a component suitable for constituting the optical transmitting module (optical INTAKONEKUSHON equipment) of a parallel transmission mold especially. Although the present candidate for application of optical INTAKONEKUSHON equipment is short-distance fiber optics communication besides the parallel connection between cases, such as a computer, and between boards, it has the trunk system of a computer network large-scale as application, or long-distance high capacity communication from which the future is expected.

[0003] general -- field luminescence semiconductor laser -- GaAs Or GaInAs from, although it usually comes out to constitute with the optical resonator which consists of a semi-conductor distribution Bragg reflection mirror of the becoming barrier layer and the upper part arranged up and down on both sides of the barrier layer concerned and a semi-conductor distribution Bragg reflection mirror of the lower part by the side of a substrate Since the die length of an optical resonator is remarkable and short as compared with the case of edge surface-emitting type semiconductor laser, it is [ laser oscillation ] lifting-easy and it necessary to carry out it by setting the reflection factor of a reflecting mirror as a very high value (99% or more). for this reason -- usually -- AlAs from -- the becoming low refractive-index ingredient and GaAs from -- the semi-conductor distribution Bragg reflection mirror formed by carrying out the laminating of the becoming high refractive-index ingredient by turns with the period of quarter-wave length is used.

[0004] By the way, although InP is used for a manufacture substrate and InGaAsP is used for a barrier layer, long-wavelength-region laser [ as / whose laser wavelength which is used for optical communication is long-wavelength-region laser 1.1 micrometers or more as mentioned above / whose laser wavelength is 1.3 micrometer band and 1.55 micrometer band ] has the large lattice constant of InP of a substrate, with the reflecting mirror ingredient adjusted in this, cannot take a large refractive-index difference, therefore needs to make the number of laminatings 40 or more pairs. Moreover, there is a point that a property changes with temperature a lot in the semiconductor laser formed on an InP substrate as another problem. A practical long-wavelength-region side luminescence semi-conductor has

still come [ it is necessary to use it, adding the equipment which makes temperature regularity, and / therefore, / it is difficult to present general /, such as a noncommercial use, /, and ] to be put in practical use from the problem of such a number of laminatings, and the temperature characteristic.

[0005] What was indicated by JP,9-237942,A is known as invention made in order to solve such a problem. According to it, it is GaAs as a manufacture substrate. The semi-conductor layer which consists of AlInP which can take this substrate and lattice matching among the lower upper parts by the side of a substrate in the low refractive-index layer of one [ at least ] semi-conductor distribution Bragg reflection mirror is used using a substrate. furthermore, the inside of the lower upper part -- the high refractive-index layer of one [ at least ] semi-conductor distribution Bragg reflection mirror -- GaInNAs from -- using the becoming semi-conductor layer, a larger refractive-index difference than before is acquired, and the semi-conductor distribution Bragg reflection mirror of the high reflection factor in the small number of laminatings will be realized

[0006] Moreover, GaInNAs It is used as an ingredient of a barrier layer. This is because a band gap (forbidden-band width of face) can be reduced toward 1.4eV to 0eV by making N presentation increase, so it becomes possible from 0.85 micrometers to use long wave length as an ingredient which emits light. and GaAs since a substrate and lattice matching are possible -- GaInNAs from -- the becoming semi-conductor layer has made reference also about the point desirable as an ingredient for the long-wavelength-region side luminescence semiconductor laser of 1.3-micrometer band and 1.55-micrometer band.

[0007] However, conventionally, it only remains for suggesting the possibility of field luminescence semiconductor laser implementation of a long wave length band rather than 0.85 micrometers, and such a thing is not realized in fact. It is because the more concrete configuration to obtain actually stabilized laser luminescence is still unknown although the configuration with this fundamental was decided mostly theoretically.

[0008] if an example is given -- above -- AlAs from -- the becoming low refractive-index ingredient and GaAs from -- what used the semi-conductor distribution Bragg reflection mirror formed by carrying out the laminating of the becoming high refractive-index ingredient by turns with the period of quarter-wave length -- Although indicated by JP,9-237942,A, or like In the thing using the semi-conductor layer which turns into a low refractive-index layer of a semi-conductor distribution Bragg reflection mirror from AlInP which can take this substrate and lattice matching, even if a laser component did not emit light at all or emitted light, the luminous efficiency was low, and it was far from practical use level. This is easy to produce the crystal defect to which the ingredient containing aluminum is very activity chemically, and originates in aluminum. In order to solve this, there is a proposal which constitutes a semi-conductor distribution Bragg reflection mirror from GaInNP and GaAs which do not contain aluminum like invention indicated by JP,8-340146,A and JP,7-307525,A. However, GaInNP and GaAs A refractive-index difference is abbreviation one half compared with the refractive-index difference of AlAs and GaAs, it increases the number of laminatings of a reflecting mirror very much, and it becomes difficult to manufacture it.

[0009] That is, in the present condition, although fiber optics communication is expected by the computer network etc., the communication system using the long-wavelength-region side luminescence semiconductor laser and it whose laser wavelength which can be used for it is 1.1 micrometers - 1.7 micrometers does not exist, but it is anxious for the appearance.

[0010]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] About the long-wavelength-region side luminescence semiconductor laser whose laser oscillation wavelength on which this invention is used for such optical communication etc. is 1.1 micrometers - 1.7 micrometers, and its optical transmission system, by using the surface-emitting type semiconductor laser component chip which can make operating voltage, an oscillation threshold current, etc. low as the luminescence light source, the 1st purpose is a low power and is in the reliable thing for which an optical transmission system is proposed by stabilizing the optical output of semiconductor laser.

[0011] Moreover, the 2nd purpose uses the long-wavelength-region side luminescence semiconductor

laser component chip whose laser oscillation wavelength which can be stabilized and used is 1.1 micrometers - 1.7 micrometers as the luminescence light source, and its dependability is highly practical, and it is in the reliable thing for which an optical transmission system is proposed by stabilizing the optical output of semiconductor laser.

[0012] Furthermore, the 3rd purpose is in such an optical transmission system to propose an optical transmission system with high effectiveness, branching sufficient light controlling a semiconductor laser optical output to the photo detector for monitors.

[0013] Moreover, in such an optical transmission system, the 4th purpose is forming a branching means in the mounting substrate which fixes an optical fiber or optical waveguide at a monolithic, and is for components mark to propose few compact optical transmission systems.

[0014] Furthermore, by communalizing such a branching means, the 5th purpose reduces components mark and is to propose a compact and a low cost optical transmission system.

[0015] Moreover, in such an optical transmission system, the 6th purpose is forming a branching means in the photo detector side for monitors, and is for components mark to propose few compact optical transmission systems.

[0016] Furthermore, in such an optical transmission system, the 7th purpose is forming a branching means in an optical fiber or an optical waveguide end face, and its optical path length is small and it is to propose an optical transmission system with them. [ there are few components mark and compact ]

[0017]

[Means for Solving the Problem] A branching means to branch the laser beam which carried out outgoing radiation from the laser chip and this laser chip, In the optical transmission system containing the optical fiber as an optical transmission line or optical waveguide which is carrying out optical coupling to the this branched laser beam, and the photo detector which carries out the monitor of the laser beam of branched another side Said laser chip the barrier layer in which oscillation wavelength is 1.1 micrometers - 1.7 micrometers, and generates light The layer which a main element becomes from Ga, In, N, and As, or Ga, In, It is the surface-emitting type semiconductor laser component chip which has the resonator structure containing the reflecting mirror formed in the upper part and the lower part of said barrier layer in order to consider as the layer which consists of As and to obtain a laser beam. While the refractive index of the ingredient layer which constitutes it is the semi-conductor distribution Bragg reflection mirror which changes periodically with smallness/size and reflects incident light by the interference of light wave, said reflecting mirror Said refractive index sets the ingredient layer of smallness to  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $0 < x \leq 1$ ). Said refractive index is the reflecting mirror which set the adult ingredient layer to  $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$  ( $0 \leq y < x \leq 1$ ). And it is the optical transmission system with which said refractive index made the surface-emitting type semiconductor laser component chip which comes to prepare ingredient layer  $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$  ( $0 \leq y < z < x \leq 1$ ) to which this refractive index takes smallness and the value of an adult between between smallness and an adult ingredient layer the luminescence light source. It is with the output of said photo detector for monitors, and the optical output of semiconductor laser was controlled.

[0018] Moreover, a branching means to branch the laser beam which carried out outgoing radiation to the 2nd from the laser chip and this laser chip, In the optical transmission system containing the optical fiber as an optical transmission line or optical waveguide which is carrying out optical coupling to the this branched laser beam, and the photo detector which carries out the monitor of the laser beam of branched another side Said laser chip the barrier layer in which oscillation wavelength is 1.1 micrometers - 1.7 micrometers, and generates light The layer which a main element becomes from Ga, In, N, and As, or Ga, In, It is the surface-emitting type semiconductor laser component chip which has the resonator structure containing the reflecting mirror formed in the upper part and the lower part of said barrier layer in order to consider as the layer which consists of As and to obtain a laser beam. While the refractive index of the ingredient which constitutes it is the semi-conductor distribution Bragg reflection mirror which changes periodically with smallness/size and reflects incident light by the interference of light wave, said reflecting mirror Said refractive index sets the ingredient of smallness to  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $0 < x \leq 1$ ). Said refractive index is the reflecting mirror which set the adult ingredient to

AlyGa $1-y$ As ( $0 \leq y < x \leq 1$ ). The surface-emitting type semiconductor laser component chip which comes to prepare the nonluminescent recombination prevention layer which consists of GaInP or GaInPAs between said barrier layers and said reflecting mirrors is made into the luminescence light source, and it is an optical transmission system. It is with the output of said photo detector for monitors, and the optical output of semiconductor laser was controlled.

[0019] Furthermore in the 1st and 2nd optical transmission system of the above, it was made to make light transmittance in a use wavelength range 50% or less to the 3rd 1% or more in a branching means to branch the optical output from said semiconductor laser.

[0020] Moreover, to the 4th, said branching means made some mounting substrates which fix an optical fiber or optical waveguide in the 1st and 2nd optical transmission system of the above.

[0021] While said semiconductor laser consisted of two or more independent light emitting devices and also had independently two or more optical fibers or optical waveguides, and photo detectors for monitors corresponding to it, it was made for said branching means to be a branching means which is the structure prepared in them in common in the 5th above 1st - the 4th optical transmission system furthermore.

[0022] Moreover, in the 1st, 2nd, and 3rd optical transmission system of the above, or said branching means was a part of photo detector, it was formed in the front face the 6th.

[0023] Furthermore in the 1st, 2nd, and 3rd optical transmission system of the above, said branching means was formed in the 7th at the end face of an optical fiber or waveguide.

[0024]

[Embodiment of the Invention] One example of the long-wavelength-region side luminescence semiconductor laser whose laser oscillation wavelength with few transmission losses which are the light emitting devices first applied to the optical transmission system of this invention is 1.1 micrometers - 1.7 micrometers is explained using [drawing 1](#).

[0025] As mentioned above, about the long-wavelength-region side luminescence semiconductor laser whose laser oscillation wavelength which this invention is going to apply is 1.1 micrometers - 1.7 micrometers, it was only that there is suggestion of the possibility, and the ingredient for implementation and the more concrete and detailed configuration were conventionally unknown. In this invention, ingredients, such as GaInNAs, were used as a barrier layer and the still more concrete configuration was clarified. It is explained in full detail below.

[0026] In this invention, on the n-GaAs substrate of field bearing (100) The wavelength  $\lambda$  in each medium  $1/4$  time the thickness of an oscillation  $B_y$  ( $\lambda/4$  of thickness), n-Al $x$ Ga $1-x$ As n-semiconductor distribution Bragg reflection mirror (AlAs/GaAs lower semiconductor distribution Bragg reflection mirror) which carried out 35 period laminating of the n-AlyGa $1-y$ As ( $y=0$ ) (layer of high refractive-index layer - refractive-index size) by turns is formed. ( $x=1.0$ ) (layer of low refractive-index layer - refractive-index smallness) The laminating of the n-GaxIn $1-x$ PyAs $1-y$  ( $x=0.5$ ,  $y=1$ ) layer of  $\lambda/4$  of thickness was carried out on it. In this example, n-GaxIn $1-x$ PyAs $1-y$  ( $x=0.5$ ,  $y=1$ ) layers are also some lower reflecting mirrors, and are low refractive-index layers (layer of refractive-index smallness).

[0027] And on it, the laminating of an undoping lower GaAs spacer layer, the multiplex quantum well barrier layer which consists of a barrier layer (quantum well barrier layer) which is a three-layer GaxIn $1-x$ As quantum well layer, and a GaAs barrier layer (20nm), and the undoping up GaAs spacer layer is carried out, and they form the resonator of the thickness for one wave of the oscillation wavelength  $\lambda$  in a medium (thickness of  $\lambda$ ).

[0028] Furthermore on it, the laminating of the periodic structure (one period) which carried out the laminating of the Zn dope p-Al $x$ Ga $1-x$ As ( $x=0$ ) to the p-GaxIn $1-x$ PyAs $1-y$  ( $x=0.5$ ,  $y=1$ ) layer of C (carbon) dope by turns on the wavelength  $\lambda$  in each medium  $1/4$  time the thickness of an oscillation is carried out. On it p-Al $x$ Ga $1-x$ As of C dope ( $x=0.9$ ) and Zn dope p-Al $x$ Ga $1-x$ As The semiconductor distribution Bragg reflection mirror (aluminum $0.9$ Ga $0.1$  As/GaAs up semiconductor distribution Bragg reflection mirror) which consists of periodic structure (25 periods) which carried out the laminating of ( $x=0$ ) by turns on the wavelength  $\lambda$  in each medium  $1/4$  time the thickness of an

oscillation is formed. In this example, p-GaxIn1-xPyAs1-y ( $x=0.5$ ,  $y=1$ ) layers are also some up reflecting mirrors, and are low refractive-index layers (layer of refractive-index smallness).

[0029] In addition, although the laminating of a low refractive-index layer (layer of refractive-index smallness) / the high refractive-index layer (layer of refractive-index size) is carried out also to the upper part / lower reflecting mirror by turns, respectively and being formed, by this invention, the refractive index has prepared among these ingredient layer AlzGa1-zAs ( $0 \leq y < z < x \leq 1$ ) which takes smallness and the value of an adult between here. Drawing 2 shows some semi-conductor distribution Bragg reflection mirrors which prepared ingredient layer AlzGa1-zAs ( $0 \leq y < z < x \leq 1$ ) to which a refractive index takes smallness and the value of an adult between between the low refractive-index layer (layer of refractive-index smallness), and the high refractive-index layer (layer of refractive-index size) (in drawing 1, it is omitting illustrating, since drawing becomes complicated).

[0030] Although examination is carried out, it is still an examination phase, and it is not examined by the detail to the ingredient or its thickness that laser wavelength prepares such an ingredient layer about the semiconductor laser of 0.85-micrometer band conventionally, either. Moreover, laser oscillation wavelength like this invention is not examined at all about the long-wavelength-region side luminescence semiconductor laser which is 1.1 micrometers - 1.7 micrometers. This field (long-wavelength-region side luminescence semiconductor laser whose laser oscillation wavelength is 1.1 micrometers - 1.7 micrometers) is a new field, and that reason is that research has hardly progressed yet.

[0031] this invention person has noticed promptly the usefulness of this field (optical communication using the long-wavelength-region side luminescence semiconductor laser and it whose laser oscillation wavelength is 1.1 micrometers - 1.7 micrometers), and in order to realize it, he inquired wholeheartedly.

[0032] A quantity of gas flow is controlled at the time of formation, and as such an ingredient layer changes the aluminum presentation continuously or gradually, as the refractive index of the ingredient layer changes continuously or gradually, it forms it.

[0033] As the ratio of aluminum and Ga changes to the condition of GaAs-AlGaAs-AlAs gradually, more specifically, it forms the value of  $z$  of an AlzGa1-zAs ( $0 \leq y < z < x \leq 1$ ) layer in it, so that it may change from 0 to 1.0 that is,. This is created by controlling a quantity of gas flow as mentioned above at the time of the stratification. Moreover, as the ratio of aluminum and Ga changes continuously as mentioned above, it may form, and even if it makes it the ratio change gradually, there is equivalent effectiveness.

[0034] The reason for preparing such an ingredient layer is for solving the technical problem that the electric resistance of p-semi-conductor distribution Bragg reflection mirror which is one of the troubles which a semi-conductor distribution Bragg reflection mirror has is high. Although the hetero obstruction which produces this in the interface of two kinds of semi-conductor layers which constitute a semi-conductor distribution Bragg reflection mirror is the cause, it is possible by changing a refractive index, as aluminum presentation changes from one presentation to the presentation of another side gradually like this invention at the interface of a low refractive-index layer and a high refractive-index layer to control generating of a hetero obstruction.

[0035] Moreover, if it is good to consider as the thickness which is 5nm - 50nm and it is thinner than this, a large next door current cannot flow [ resistance ] easily, and ingredient layer AlzGa1-zAs ( $0 \leq y < z < x \leq 1$ ) to which such a refractive index takes smallness and the value of an adult between has the fault that a component generates heat or drive energy becomes high, when laser oscillation wavelength like this invention is the long-wavelength-region side luminescence semiconductor laser which is 1.1 micrometers - 1.7 micrometers. Moreover, although resistance will serve as smallness and it will become advantageous in respect of generation of heat of a component, and drive energy if thick, there is fault that a reflection factor cannot be taken and it is necessary to choose shortly, the range (thickness which is 5nm - 50nm) optimal as mentioned above.

[0036] In addition, although it is also examined that the conventional laser wavelength prepares such an ingredient layer about the semiconductor laser of 0.85-micrometer band as mentioned above, it is more effective when laser oscillation wavelength like this invention is the long-wavelength-region side



luminescence semiconductor laser which is 1.1 micrometers - 1.7 micrometers. Because, in order to obtain an equivalent reflection factor (for example, 99.5% or more), for example, since such an ingredient layer can be made into about 2 times in the case of 1.1-micrometer band - 1.7-micrometer band, the resistance of a semi-conductor distribution Bragg reflection mirror can be reduced, and operating voltage, an oscillation threshold current, etc. become low, and become advantageous in respect of exoergic prevention of a laser component and a stable oscillation, and a few energy drive from 0.85-micrometer band.

[0037] That is, it can be especially called effective device to prepare such an ingredient layer in a semi-conductor distribution Bragg reflection mirror, when laser oscillation wavelength like this invention is the long-wavelength-region side luminescence semiconductor laser which is 1.1 micrometers - 1.7 micrometers.

[0038] When an example of the more detailed examination result for obtaining an effective reflection factor is given, for example in addition, in a 1.3 micrometer band surface-emitting type laser element [ when 20 period laminating of the  $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$  ( $y=0$ ) (layer of high refractive-index layer - refractive-index size) is carried out to  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $x=1.0$ ) (layer of low refractive-index layer - refractive-index smallness) ] The thickness of the  $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$  ( $0 \leq y < z < x \leq 1$ ) layer from which the reflection factor of a semi-conductor distribution Bragg reflection mirror becomes 99.7% or less is 30nm. Moreover, the wavelength band where a reflection factor becomes 99.5% or more is 53nm, and when a reflection factor is designed with 99.5% or more, it just performs \*\*2% of thickness control. Then, when the thing (10nm [ equivalent to this and ] thinner than this, 20nm, and 30nm) was made as an experiment, the reflection factor could be maintained at extent which is satisfactory practically, and the 1.3 micrometer band surface-emitting type laser element which was able to reduce the resistance of a semi-conductor distribution Bragg reflection mirror was succeeded in implementation and laser oscillation. In addition, other configurations of the laser component made as an experiment are as below-mentioned.

[0039] In addition, in a multilayers reflecting mirror, there is a band where a reflection factor is high including design wavelength (noting that thickness control is completely possible). It is called the band (a reflection factor includes the field which is beyond a need value to the wavelength of an aim) of a high reflection factor. It is the field to which it is falling every very only as the reflection factor of design wavelength is the highest and wavelength separates. This falls rapidly from a certain field. And it is necessary to control the thickness of a multilayers reflecting mirror by atomic layer level completely essentially to become more than a required reflection factor to the wavelength of an aim. However, since about \*\*1% of thickness error is produced in fact, the wavelength and the wavelength with the highest reflection factor of an aim will shift. For example, when the wavelength of an aim is 1.3 micrometers and thickness control shifts 1%, 13nm of wavelength with the highest reflection factor will shift. Therefore, the larger one of this band (field whose reflection factor is beyond a need value to the wavelength of an aim here) of a high reflection factor is desirable. However, when an interlayer is thickened, it is in the inclination for this band to become narrow.

[0040] Thus, since resistance can be reduced maintaining a reflection factor highly when laser oscillation wavelength like this invention sets to the long-wavelength-region side luminescence semiconductor laser which is 1.1 micrometers - 1.7 micrometers and devises and optimizes the configuration of such a semi-conductor distribution Bragg reflection mirror, operating voltage, an oscillation threshold current, etc. can be made low, and exoergic prevention of a laser component and a stable oscillation, and a few energy drive are attained.

[0041] The  $\text{p-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $x=0$ ) layer of return and the topmost part also has a role of a contact layer (p-contact layer) for taking an electrode and contact in drawing 1 again.

[0042] Here, the In presentation x of a quantum well barrier layer was made into 39% ( $\text{Ga}_{0.61}\text{In}_{0.39}\text{As}$ ). Moreover, thickness of a quantum well barrier layer was set to 7nm. In addition, the quantum well barrier layer had about 2.8% of compressive strain to the GaAs substrate.

[0043] moreover, the growth approach of this whole surface-emitting type semiconductor laser -- MOCVD -- it carried out by law. In this case, grid relaxation was not seen. TMA (trimethylaluminum), TMG (trimethylgallium), TMI (trimethylindium),  $\text{AsH}_3$  (arsine), and  $\text{PH}_3$  (phosphoretted hydrogen)

were used for the raw material which constitutes each class of semiconductor laser. Moreover, H<sub>2</sub> was used for carrier gas. Like the barrier layer (quantum well barrier layer) of the component shown in drawing 1, when distortion is large, the low-temperature growth which is un-balancing is desirable. Here, the GaInAs layer (quantum well barrier layer) is grown up at 550 degrees C. A degree of supersaturation is high and the MOCVD method used here is suitable for the crystal growth of a high distorted barrier layer. Moreover, a high vacuum like the MBE method is not needed, but since what is necessary is just to control the supply flow rate and supply time amount of material gas, it excels also in mass-production nature.

[0044] Moreover, from this example, the insulating layer (high resistance section) was made for the part besides a current path by proton (H<sup>+</sup>) exposure, and current straitness \*\*\*\* was formed in it.

[0045] And in this example, except for the optical outgoing radiation section, p lateral electrode was formed on p-contact layer which is a layer of the topmost part of an up reflecting mirror, and serves as an up reflecting mirror part, and n lateral electrode was formed in the rear face of a substrate.

[0046] In the active region (resonator which consists of the upper part and a lower spacer layer, and a multiplex quantum well barrier layer in this example) which was inserted into the vertical reflecting mirror in this example and which a carrier is poured in and recombined Into the active region, the layer nearest to a barrier layer of the lower part and the low refractive-index layer of an up reflecting mirror is further used as the nonluminescent recombination prevention layer of GaxIn1-xPyAs1-y ( $0 < x < 1$ ,  $0 < y \leq 1$ ) not using the ingredient (the percentage of occupying to III groups is 1% or more) containing aluminum. When a carrier is poured in and recombined, nonluminescent recombination will arise in this interface and luminous efficiency will fall in having considered as the structure which contained aluminum in the low refractive-index layer (wide gap layer) of the reflecting mirror which touches an active region, even if it constituted only the active region from a layer (the percentage of occupying to III groups is 1% or less) which does not contain aluminum since the carrier was confined in the barrier layer between the low refractive-index layers of the upper part which is a wide gap most soon, and a lower reflecting mirror. Therefore, as for an active region, constituting from a layer which does not contain aluminum is desirable.

[0047] Moreover, that lattice constant of the nonluminescent recombination prevention layer which consists of this GaxIn1-xPyAs1-y ( $0 < x < 1$ ,  $0 < y \leq 1$ ) layer is smaller than a GaAs substrate, and it has tension distortion.

[0048] In epitaxial growth, since it grows up reflecting the information on a substrate, if a defect is shown in a substrate front face, it creeps up to the growth phase. However, if there is a distorted layer, it is known that such a defect crawls, a riser is stopped and it is effective.

[0049] Luminous efficiency will be reduced if the above-mentioned defect reaches a barrier layer. Moreover, in the barrier layer which has distortion, critical thickness decreases and the problem of being unable to grow up produces the layer of required thickness. When especially the amount of compressive strains of a barrier layer is as large as 2% or more, or when growing up more thickly than the thickness criticality thickness of a distorted layer, it poses especially a problem that it cannot grow up in existence of a defect even if it performs non-balancing growth of low-temperature growth etc. Since such a defect will crawl and a riser will be stopped if there is a distorted layer, luminous efficiency can be improved, the amount of compressive strains of a barrier layer can grow 2% or more of layer, or it becomes possible to grow up the thickness of a distorted layer more thickly than critical thickness.

[0050] Although this GaxIn1-xPyAs1-y ( $0 < x < 1$ ,  $0 < y \leq 1$ ) layer also has the role which is in contact with the active region and confines a carrier in an active region, a GaxIn1-xPyAs1-y ( $0 < x < 1$ ,  $0 < y \leq 1$ ) layer can take large bandgap energy, so that a lattice constant becomes small. For example, in GaxIn1-xP (in the case of  $y = 1$ ), if x becomes large and approaches GaP, a lattice constant will become large and a band gap will become large. A band gap  $E_g$  is given with  $E_g(\text{gamma}) = 1.351 + 0.643x + 0.786 x^2$  by direct transition, and is given with  $E_g(X) = 2.24 + 0.02x$  by the indirect transition. Therefore, since it becomes large, eye carrier \*\*\*\*\* becomes good, and the hetero obstruction of an active region and a GaxIn1-xPyAs1-y ( $0 < x < 1$ ,  $0 < y \leq 1$ ) layer has effectiveness, such as threshold current reduction and a temperature characteristic improvement.

[0051] That lattice constant of the nonluminescent recombination prevention layer which furthermore consists of this  $\text{GaIn}_{1-x}\text{PyAs}_1-y$  ( $0 < x < 1$ ,  $0 < y \leq 1$ ) layer is larger than a GaAs substrate, it has the compressive strain and the lattice constant of said barrier layer has the compressive strain more greatly than said  $\text{GaIn}_{1-x}\text{PyAs}_1-y$  ( $0 < x < 1$ ,  $0 < y \leq 1$ ) layer.

[0052] Moreover, since the distorted direction of this  $\text{GaIn}_{1-x}\text{PyAs}_1-y$  ( $0 < x < 1$ ,  $0 < y \leq 1$ ) layer is the same direction as a barrier layer, it works in the direction which reduces the substantial amount of compressive strains which a barrier layer senses. Since it is easy to be influenced of an external factor so that distortion is large, it is effective, when the amount of compressive strains of a barrier layer is as large as 2% or more, or especially when critical thickness is exceeded.

[0053] For example, it is desirable that oscillation wavelength forms the surface-emitting type laser of 1.3-micrometer band on a GaAs substrate, and total thickness needs to grow up a 50-80-layer semiconductor layer to be a resonator before barrier layer growth by 5-8 micrometers, using a semiconductor multilayers reflecting mirror in many cases. In this case (On the other hand, in the case of an edge surface-emitting type laser, the total thickness before barrier layer growth should just grow an about three-layer semiconductor layer by about 2 micrometers.) Even if it uses the GaAs substrate of high quality, compared with the defect density of a GaAs substrate front face, the defect density of the front face in front of barrier layer growth will increase inevitably by various causes (fundamentally, the defect generated once creeps up in the crystal growth direction, and has defective generating by the hetero interface etc.). Before barrier layer growth, insertion of a distorted layer and the effect of the defect shown in the front face in front of barrier layer growth when the substantial amount of compressive strains which a barrier layer senses decreases can be reduced now.

[0054] In this example, since it considered as the configuration which does not contain aluminum in the interface of the inside of an active region, and a reflecting mirror and an active region, the nonluminescent recombination from which the crystal defect which originated in aluminum at the time of carrier impregnation becomes a cause was lost, and nonluminescent recombination decreased.

[0055] As mentioned above, although it is desirable that a vertical reflecting mirror applies to consider as the configuration which does not contain aluminum in the interface of a reflecting mirror and an active region, namely, to prepare a nonluminescent recombination prevention layer, applying to one reflecting mirror is also effective. Moreover, in this example, it considered as the semiconductor distribution Bragg reflection mirror with the vertical reflecting mirror, and is [ one reflecting mirror is used as a semiconductor distribution Bragg reflection mirror, and ] good also considering the reflecting mirror of another side as a dielectric reflecting mirror.

[0056] Moreover, although only the layer nearest to a barrier layer of a reflecting mirror low refractive-index layer is used as the nonluminescent recombination prevention layer of  $\text{GaIn}_{1-x}\text{PyAs}_1-y$  ( $0 < x < 1$ ,  $0 < y \leq 1$ ) in the above-mentioned example, it is good also considering  $\text{GaIn}_{1-x}\text{PyAs}_1-y$  ( $0 < x < 1$ ,  $0 < y \leq 1$ ) as a nonluminescent recombination prevention layer.

[0057] Furthermore, in this example, this idea is applied to the lower reflecting mirror between a GaAs substrate and a barrier layer, the bad influence to the barrier layer of the crystal defect resulting from aluminum which poses a problem at the time of growth of a barrier layer depended for creeping up is pressed down, and crystal growth of the barrier layer can be carried out to high quality. Luminous efficiency was high and surface-emitting type semiconductor laser with practically sufficient dependability was obtained by these. Moreover, it is not all the low refractive-index layers of a semiconductor distribution Bragg reflection mirror, and the above-mentioned effectiveness has been acquired, without making especially the number of laminatings of a reflecting mirror increase, since the part nearest to an active region at least was only used as the  $\text{GaIn}_{1-x}\text{PyAs}_1-y$  ( $0 < x < 1$ ,  $0 < y \leq 1$ ) layer which does not contain aluminum.

[0058] Thus, the oscillation wavelength of the manufactured surface-emitting type semiconductor laser was about 1.2 micrometers. Although GaInAs on a GaAs substrate was formed into long wavelength by the increment in In presentation, even 1.1 micrometers was conventionally considered to be the limitation of the formation of long wavelength with the increment in the amount of distortion (refer to reference "IEEE Photonics Technol. Lett. Vol.9(1997) pp.1319-1321").

[0059] However, as the artificer manufactured this time, it became possible to carry out coherent growth of the GaInAs quantum well barrier layer of high distortion more thickly than before with the high grown method of non-unbalance, such as low-temperature growth of 600 degrees C or less, and wavelength has reached to 1.2 micrometers. In addition, this wavelength is transparent to Si semiconductor substrate. Therefore, the optical transmission which let Si substrate pass in the circuit chip which accumulated the electronic device and the light corpuscle child on Si substrate becomes possible.

[0060] By using GaInAs of a high compressive strain with large In presentation for a barrier layer so that more clearly than the above explanation showed that the surface-emitting type semiconductor laser of a long wavelength region could be formed on a GaAs substrate.

[0061] in addition, such [ as mentioned above ] surface-emitting type semiconductor laser -- MOCVD -- although it can be made to grow up by law -- MBE -- other growth approaches, such as law, can also be used. Moreover, as a laminated structure of a barrier layer, although the example of 3-fold quantum-well structure (TQW) was shown, the structure (SQW, MQW) using the quantum well of other numbers of wells etc. can also be used.

[0062] Structure of laser may also be made into other structures. Moreover, although cavity length considered as the thickness of  $\lambda$ , it can be made into  $\lambda/2$  of integral multiples. It is the integral multiple of  $\lambda$  desirably. Moreover, although the example using GaAs as a semi-conductor substrate was shown, even when other semi-conductor substrates, such as InP, are used, the above-mentioned view can be applied. Other periods are sufficient as the period of a reflecting mirror.

[0063] in addition -- although this example showed the layer which a main element becomes from Ga, In, and As, i.e., the example of  $\text{GaIn}_{1-x}\text{As}$  (GaInAs barrier layer), as a barrier layer -- more -- a long wave -- the layer (GaInNAs barrier layer) which N is added and a main element becomes from Ga, In, N, and As in order to perform merit's laser oscillation -- then, it is good.

[0064] By actually changing the presentation of a GaInNAs barrier layer, it was possible in each of 1.3-micrometer band and 1.55-micrometer band to have performed laser oscillation. considering a presentation -- further -- a long wave -- merit's, for example, 1.7-micrometer band, surface emission-type laser also becomes possible.

[0065] Moreover, even if it uses GaAsSb for a barrier layer, 1.3-micrometer \*\*\*\* luminescence laser is realizable on a GaAs substrate. Thus, although semiconductor laser with a wavelength of 1.1 micrometers - 1.7 micrometers did not have the conventionally suitable ingredient, the stable oscillation could realize highly efficient field luminescence laser in the long wavelength field of the difficult wavelength band of 1.1 micrometers - 1.7 micrometers conventionally by preparing a nonluminescent recombination prevention layer in a barrier layer, using GaInAs of high distortion, GaInNAs, and GaAsSb.

[0066] Next, other configurations of the long-wavelength-region surface-emitting type semiconductor laser which is the light emitting device applied to the optical transceiver system of this invention are explained using [drawing 3](#).

[0067] Also in this case, the n-GaAs substrate of field bearing (100) is used like the case of [drawing 1](#). The wavelength  $\lambda$  in each medium  $1/4$  time the thickness of an oscillation n-semi-conductor distribution Bragg reflection mirror (aluminum0.9Ga0.1 As/GaAs lower reflecting mirror) which carried out 35 period laminating of n- $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $x = 0.9$ ) and the n- $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $x = 0$ ) by turns by ( $\lambda/4$  of thickness) is formed. The laminating of the n- $\text{GaIn}_{1-x}\text{PyAs}_{1-y}$  ( $x = 0.5$ ,  $y = 1$ ) layer of  $\lambda/4$  of thickness was carried out on it. In this example, n- $\text{GaIn}_{1-x}\text{PyAs}_{1-y}$  ( $x = 0.5$ ,  $y = 1$ ) layers are also some lower reflecting mirrors, and are low refractive-index layers.

[0068] And the multiplex quantum well barrier layer (this example 3-fold quantum well (TQW)) which consists of an undoping lower GaAs spacer layer, a barrier layer (quantum well barrier layer) which is a three-layer  $\text{GaIn}_{1-x}\text{NyAs}_{1-y}$  quantum well layer, and a GaAs barrier layer (15nm) on it, The laminating of the undoping up GaAs spacer layer is carried out, and it forms the resonator of the thickness for one wave of the oscillation wavelength in a medium (thickness of  $\lambda$ ).

[0069] Furthermore on it, p-semi-conductor distribution Bragg reflection mirror (up reflecting mirror) is formed.

[0070] the low refractive-index layer (thickness -- the C dope p-GaIn<sub>1-x</sub>PyAs<sub>1-y</sub> ( $x=0.5$ ,  $y=1$ ) layer of ( $\lambda/4$  to 15 nm) --) of the thickness of  $3\lambda/4$  whose AlAs layer from which an up reflecting mirror serves as a selected oxidizing zone was pinched in the GaInP layer and the AlGaAs layer A C dope p-AlzGa<sub>1-z</sub>As ( $z=1$ ) selected oxidizing zone (30nm in thickness) and thickness The C dope p-AlxGa<sub>1-x</sub>As layer of ( $2\lambda/4$  to 15 nm) ( $x=0.9$ ), Thickness  $\lambda/4$  of GaAs layers (one period), The p-AlxGa<sub>1-x</sub>As layer of C dope It is the semi-conductor distribution Bragg reflection mirror (aluminum<sub>0.9</sub>Ga<sub>0.1</sub> As/GaAs up reflecting mirror) which consists of periodic structures (22 periods) which carried out the laminating by turns on wavelength  $1/4$  time the thickness of the oscillation in each medium of ( $x=0.9$ ) and a p-AlxGa<sub>1-x</sub>As ( $x=0$ ) layer.

[0071] In addition, also in this example, although it is omitting illustrating since it becomes complicated in drawing 3, the structure of a semi-conductor distribution Bragg reflection mirror prepares ingredient layer AlzGa<sub>1-z</sub>As ( $0 \leq y < z < x \leq 1$ ) to which a refractive index takes smallness and the value of an adult between between a low refractive-index layer (layer of refractive-index smallness) as shown in drawing 2, and a high refractive-index layer (layer of refractive-index size).

[0072] And the topmost p-AlxGa<sub>1-x</sub>As ( $x=0$ ) layer is also giving a role of a contact layer (p-contact layer) for taking an electrode and contact.

[0073] The In presentation x of a quantum well barrier layer made N (nitrogen) presentation 0.5% 37% here. Moreover, thickness of a quantum well barrier layer was set to 7nm.

[0074] moreover, the growth approach of this surface-emitting type semiconductor laser -- MOCVD -- it carried out by law. DMHy (dimethylhydrazine) was used for the raw material which constitutes each class of semiconductor laser at TMA (trimethylaluminum), TMG (trimethylgallium), TMI (trimethylindium), AsH<sub>3</sub> (arsine), PH<sub>3</sub> (phosphoretted hydrogen), and the raw material of nitrogen. DMHy is desirable, when it is suitable for the low-temperature growth following 600 degrees C and grows up the large quantum well layer of a required distortion of especially low-temperature growth, since it decomposes at low temperature. In addition, H<sub>2</sub> was used for carrier gas.

[0075] Moreover, in this example, the GaInNAs layer (quantum well barrier layer) grew at 540 degrees C. The MOCVD method is suitable for the crystal growth of the ingredient with which the degree of supersaturation contained high V group of N and others in coincidence. Moreover, a high vacuum like the MBE method is not needed, but since what is necessary is just to control the supply flow rate and supply time amount of material gas, it excels also in mass-production nature.

[0076] Furthermore, in this example, the side face of a p-AlzGa<sub>1-z</sub>As ( $z=1$ ) selected oxidizing zone is exposed, and it forms, and the AlzGa<sub>1-z</sub>As ( $z=1$ ) layer in which the side face appeared is oxidized from a side face with a steam, and AlxOy current straitness \*\*\*\* is formed until it reaches a p-GaIn<sub>1-x</sub>PyAs<sub>1-y</sub> ( $x=0.5$ ,  $y=1$ ) layer in the mesa part of predetermined magnitude.

[0077] Finally flattening of the part removed by mesa etching was embedded and carried out with polyimide (insulator layer), the polyimide on an up reflecting mirror was removed, p lateral electrode was formed except for the optical outgoing radiation section on p-contact layer, and n lateral electrode was formed in the rear face of a GaAs substrate.

[0078] In this example, the GaIn<sub>1-x</sub>PyAs<sub>1-y</sub> ( $0 < x < 1$ ,  $0 < y \leq 1$ ) layer is inserting in the lower part of a selected oxidizing zone as some up reflecting mirrors. For example, if sulfuric-acid system etchant is used, since a GaInPAs system can be used as an etching halt layer to an AlGaAs system, it is that the GaIn<sub>1-x</sub>PyAs<sub>1-y</sub> ( $0 < x < 1$ ,  $0 < y \leq 1$ ) layer is inserted, and the height of mesa etching for selective oxidation can be strictly controlled by the case of wet etching. For this reason, homogeneity and repeatability are raised and low cost-ization can be attained.

[0079] Moreover, when the surface-emitting type semiconductor laser (component) of this example is accumulated on a single dimension or two dimensions, and the controllability at the time of component manufacture becomes good, it is effective in the homogeneity of the component property of each component in an array and repeatability becoming very good.

[0080] In addition, although the GaIn<sub>1-x</sub>PyAs<sub>1-y</sub> ( $0 < x < 1$ ,  $0 < y \leq 1$ ) layer which serves as an etching stop layer was prepared in the up reflecting mirror side in this example, you may prepare in a lower reflecting mirror side.

[0081] Moreover, also in this example, it sets to the active region (resonator which consists of the upper part and a lower spacer layer, and a multiplex quantum well barrier layer in this example) which was inserted into the vertical reflecting mirror and which a carrier is poured in and recombined. Into the active region, the layer nearest to a barrier layer of the lower part and the low refractive-index layer of an up reflecting mirror is further used as the nonluminescent recombination prevention layer of  $Ga_{1-x}In_xPyAs_{1-y}$  ( $0 < x < 1$ ,  $0 < y <= 1$ ) not using the ingredient containing aluminum. That is, in this example, since it is considering as the configuration which does not contain aluminum in the interface of the inside of an active region, and a reflecting mirror and an active region, the nonluminescent recombination from which the crystal defect which originated in aluminum at the time of carrier impregnation becomes a cause can be reduced.

[0082] In addition, although it is desirable to apply the configuration which does not contain aluminum in the interface of a reflecting mirror and an active region to a vertical reflecting mirror like this example, applying to one of reflecting mirrors is also effective. Moreover, in this example, it considered as the semi-conductor distribution Bragg reflection mirror with the vertical reflecting mirror, and is [ one reflecting mirror is used as a semi-conductor distribution Bragg reflection mirror, and ] good also considering the reflecting mirror of another side as a dielectric reflecting mirror.

[0083] Furthermore, the bad influence to the barrier layer of the crystal defect which originates in aluminum which poses a problem at the time of growth of a barrier layer since the idea same to the lower reflecting mirror between a GaAs substrate and a barrier layer as the case of the example of drawing 1 was applied depended for creeping up is pressed down also in this example, and crystal growth of the barrier layer can be carried out to high quality.

[0084] In addition, since such a nonluminescent recombination prevention layer constitutes some semi-conductor distribution Bragg reflection mirrors also in which configuration of drawing 1 and drawing 3, it makes the thickness the wavelength  $\lambda$  in a medium ( $\lambda/4$  of thickness)  $1/4$  time the thickness of an oscillation. Or two or more layers may also prepare it.

[0085] By such configuration, luminous efficiency was high and surface-emitting type semiconductor laser with practically sufficient dependability was obtained so that more clearly than the above explanation. Moreover, it was not all the low refractive-index layers of a semi-conductor distribution Bragg reflection mirror, and the above-mentioned effectiveness was able to be acquired, without making especially the number of laminatings of a reflecting mirror increase, since the part nearest to an active region at least was only used as the nonluminescent recombination prevention layer of  $Ga_{1-x}In_xPyAs_{1-y}$  ( $0 < x < 1$ ,  $0 < y <= 1$ ) which does not contain aluminum.

[0086] Moreover, since the embedding of polyimide is easy even if it makes it such a configuration, it is hard to carry out the stage piece of the wiring (this example p lateral electrode), and what has the high dependability of a component is obtained. Thus, the oscillation wavelength of the manufactured surface-emitting type semiconductor laser was about 1.3 micrometers.

[0087] In this example, the surface-emitting type semiconductor laser of a long wavelength region has been formed on the GaAs substrate by that ( $Ga_{1-x}In_xNAs$  barrier layer) which used for the barrier layer the layer which a main element becomes from Ga, In, N, and As. Moreover, since the selective oxidation of the selected oxidizing zone which used aluminum and As as the principal component performed \*\* in current straitness, the threshold current was low.

[0088] According to current straitness \*\*\*\*\* using current straitness \*\*\*\* which consists of an aluminum oxide film which carried out selective oxidation of the selected oxidizing zone, the breadth of a current can be stopped by bringing close and forming current straitness \*\*\*\* in a barrier layer, and a carrier can be efficiently confined in the minute field which cannot touch atmospheric air. Furthermore, a refractive index becomes small by oxidizing and becoming aluminum oxide film, light can be efficiently confined in the minute field in which the carrier was confined by the effectiveness of a convex lens, effectiveness becomes good extremely, and a threshold current can be reduced. Moreover, since current straitness \*\*\*\*\* can be formed easily, a manufacturing cost can be reduced.

[0089] Also in a configuration like drawing 3, the surface-emitting type semiconductor laser of 1.3-micrometer band can be realized like the case of drawing 1 so that clearly from the above explanation,

and moreover, the component of low cost is obtained with a low power.

[0090] in addition, the surface-emitting type semiconductor laser of drawing 3 -- the case of drawing 1 -- the same -- MOCVD -- although it can be made to grow up by law -- MBE -- other growth approaches, such as law, can also be used. Moreover, although DMHy was used for the raw material of nitrogen, activated nitrogen and the nitride of NH<sub>3</sub> grade others can also be used.

[0091] Although the example of 3-fold quantum-well structure (TQW) was furthermore shown as a laminated structure of a barrier layer, the structure (SQW, DQW, MQW) using the quantum well of other numbers of wells etc. can also be used. Structure of laser may also be made into other structures.

[0092] moreover, the thing for which the presentation of a GaInNAs barrier layer is changed in the surface-emitting type semiconductor laser of drawing 3 -- 1.55-micrometer band -- further -- more -- a long wave -- the surface-emitting type semiconductor laser of merit's 1.7-micrometer band also becomes possible. Other III-V group elements, such as Tl, Sb, and P, may be contained in the GaInNAs barrier layer. Moreover, even if it uses GaAsSb for a barrier layer, the surface-emitting type semiconductor laser of 1.3-micrometer band is realizable on a GaAs substrate.

[0093] In addition, although even 1.1 micrometers was conventionally considered to be the limitation of the formation of long wavelength when GaInAs was used for a barrier layer, it becomes possible to grow up more thickly than before the GaInAs quantum well barrier layer of high distortion with low-temperature growth of 600 degrees C or less, and wavelength can reach to 1.2 micrometers. Thus, although semiconductor laser with a wavelength of 1.1 micrometers - 1.7 micrometers did not have the conventionally suitable ingredient, a stable oscillation can realize now highly efficient field luminescence laser in the long wavelength field of the difficult wavelength band of 1.1 micrometers - 1.7 micrometers conventionally, and it came to be able to perform application to an optical transmission system by preparing a nonluminescent recombination prevention layer in a barrier layer, using GaInAs of high distortion, GaInNAs, and GaAsSb.

[0094] Drawing 4 shows the example which formed such a long-wavelength-region side luminescence semiconductor laser component in the n-GaAs wafer of field bearing (100) as much chips, and a laser component chip. although 1-n laser components are formed, according to that application, as for that number n, a number and the array approach are decided to be this laser component chip come out of and shown.

[0095] The mimetic diagram showing relation with the mirror and the photo detector for monitors which are a branching means to change semiconductor laser and its optical output into the object for optical communication and monitors, and to branch the energy ratio, as an example of the optical transmission system using long-wavelength-region side luminescence semiconductor laser is shown in drawing 5. in addition -- although the same is said of this drawing 5 and below-mentioned drawing 7, and drawing 8 - - space -- receiving -- the laser component of plurality [ perpendicular direction ] -- the shape of an array -- and it has the composition of having also prepared two or more optical waveguides corresponding to it (only one piece is shown by a diagram.). Communication system consists of the optical transmitting section which has surface-emitting type semiconductor laser and its drive circuit, a two-dimensional photo detector and the optical light sensing portion which has the drive circuit and an optical fiber which acts as a transmission route between them, or optical waveguide. Here, although the drive circuit of semiconductor laser and a two-dimensional photo detector is not illustrated, it is mounted on the same mounting substrate as each component, or is made like laser component formation according to a wafer process to a semiconductor laser component formation substrate. Moreover, they are the optical transmitting section and an optical light sensing portion (the above-mentioned light sensing portion for monitors of the optical light sensing portion as used in the field of here is a different thing.) to the both sides of an optical transmission path. Illustration has not been carried out. It is having and the optical transmission system which performs a bidirectional communication link can be realized.

[0096] The laser beam by which outgoing radiation was carried out from one field of a long-wavelength-region side luminescence laser array component as shown in drawing 5 branches by the mirror, and is led to the optical fiber or optical waveguide which set the optical axis. Another [ which branched by the mirror ] light is led to the photo detector for monitors. In order for the mirror which branches this laser



beam to carry out the monitor of the output of semiconductor laser here and to control the output of semiconductor laser using the output of the photo detector for monitors, The smaller one of the optical reinforcement which branches to the photo detector side for monitors is good within the sensibility of a photo detector, and when the power consumption of an optical transmission system etc. is taken into consideration, as for many of branched light, it is desirable to branch to an optical fiber [ as a transmission route which transmits data as a lightwave signal ], and optical waveguide side. Therefore, in the range of 1.1-1.7-micrometer wavelength used for this invention, the mirror which controlled the thickness of metal thin films, such as Au, and Ag, aluminum, and controlled permeability can be used. Moreover, in the conditions which carry out total reflection using a sufficiently thick metal membrane similarly, opening of various configurations, such as a slot, and a circle, a square, may be prepared in the reflector, and the mirror which controlled permeability may be used. In this case, it is better to make the pitch of a slot, and size of opening random, and to make arrangement of opening random, in order to avoid interference by light. Furthermore, the mirror which controlled permeability by the dielectric or semi-conductor multilayers may be used.

[0097] It is better to have carried out the monitor of the semiconductor laser output, and to control the output, in order to form a more reliable optical transmission system although the surface-emitting type semiconductor laser whose oscillation wavelength used for the optical transmission system of this invention is 1.1 micrometers - 1.7 micrometers has small fluctuation of the optical output by temperature compared with the conventional edge surface-emitting type semiconductor laser and it is the laser which there is little aging and was stabilized very much. Conventionally, at edge surface-emitting type semiconductor laser, although controlling a semiconductor laser output by carrying out the monitor of this light is known since a laser beam is emitted also from a back cleavage plane, in the system using surface-emitting type semiconductor laser like this example, a laser output is only from one field of semiconductor laser, and arrangement of a monitor photo detector like before cannot be taken.

Moreover, in the surface-emitting type semiconductor laser whose oscillation wavelength used for the system of this invention is 1.1 micrometers - 1.7 micrometers, a luminous-radiation angle is very as small as about 10 degrees, and although optical coupling can be carried out by making semiconductor laser approach an optical fiber and optical waveguide, without using a coupling lens, the photo detector for monitors cannot be inserted. By using the above mirrors, without enlarging the optical path length between semiconductor laser, an optical fiber, or optical waveguide, the monitor of the optical output of semiconductor laser is carried out, and the optical output of semiconductor laser can be controlled by this invention. Moreover, since the optical axis of a semiconductor laser side, an optical fiber, or optical waveguide becomes parallel since the optical axis is bent using the mirror, and semiconductor laser and an optical fiber, or optical waveguide can be fixed in parallel to a modular field, there is also an advantage which is easy to fix and can be fixed firmly. Moreover, although it becomes large as a module of an optical transmission system, a coupling lens may be used before and after a mirror to the optical axis of semiconductor laser.

[0098] In addition, by this invention, although not illustrated as mentioned above, although two or more laser components and the optical waveguide (this example optical fiber) corresponding to this are used, one common mirror (common mirror perpendicularly extended to the space of drawing 5 ) can be used for the mirror as a branching means. Miniaturization of the unit which consists of such the semiconductor laser elements, the light-receiving elements for monitors, and a branching means of light by this, and low cost-ization are realizable.

[0099] The block diagram which controls the output of semiconductor laser using the laser beam which branched in this way to drawing 6 is shown. Semiconductor laser drives, a part of laser beam emitted from there branches by the mirror, and it is led to the photo detector for monitors by the drive circuit where the data and the clock as an electrical signal were inputted. It is detected as optical reinforcement here, and it is controlled by the laser output-control section so that the output becomes fixed. BAIPORA may be used, although it is desirable to use CMOS in respect of a low power as for the semiconductor laser by which a drive circuit is used for the system of this invention since an oscillation electrical potential difference is a low threshold. Moreover, since the wavelength region of this invention is 1.1-



1.7 micrometers, the photodiode of an InGaAs ingredient can be used for the photo detector for monitors. Since fluctuation of the laser beam by aging or the temperature change is a loose change in time, the photodiode of high sensitivity is sufficient as a speed of response in it being low.

[0100] It returns to drawing 5 again and an example is explained. The laser array component which put in order four long-wavelength-region surface-emitting type semiconductor laser shown in drawing 2, the drive circuit which is not illustrated, and the laser output-control section were mounted on the mounting substrate of thermally conductive good Si. In addition, four semiconductor laser components are what formed the array pitch as 200 micrometers on the chip of one sheet, and the 1.3-micrometer thing was used for oscillation wavelength. Subsequently, thermal conductivity is good and forms the mirror as a branching means using transparent Si to the light which is 1.3 micrometers. Used Si is a single crystal Si and has determined the logging side over the crystallographic axis of a wafer in consideration of the mirror side finally formed of anisotropic etching. In addition, etchant used KOH. Thus, optical waveguide was formed, after forming the mirror side of 45 degrees in the mounting substrate and the monolithic and vapor-depositing Au to an inclined plane. Au thickness was changed and the permeability of a laser beam with a wavelength of 1.3 micrometers was controlled. After optical waveguide formed the clad, it used polymethylmethacrylate (PMMA) for the core, performed patterning, and formed the cladding layer in the upper layer. Size of a core was set to 50x50 micrometers. This waveguide carries out optical coupling to the optical fiber which is not illustrated after module formation, and is making long-distance communication system. As optical waveguide, inorganic film, such as polymer waveguides, such as polyimide, an epoxy resin and polyurethane, and polyethylene, and silicon oxide, can also be used besides PMMA. Moreover, the formation approach also combines spreading and patterning of a spin coat, a DIP coat, etc., or what is depended on resin mold metallurgy mold processing is used. The optical axis of semiconductor laser and the optical axis of optical waveguide were made in agreement, each mounting substrate was fixed, and the field incoming radiational type photodiode which is a photo detector was fixed in accordance with the optical axis which branched to the mounting substrate with which the mirror side is formed. Here, the photodiode which prepared the buffer layer upwards on the InP substrate, and has an InGaAs layer as a light absorption layer was used. The output of a photo detector was electrically connected to the laser output-control section by bonding, and the output of semiconductor laser was controlled.

[0101] The examination result at the time of changing external temperature into below is shown. This result is a thing in 20 degrees C. Although it changed 10 degrees C at a time and being investigated to 0 degree C - 70 degrees C in fact, since the result was almost the same as the case of 20 degrees C, only this data is shown here.

[0102]

[Table 1]

ミラー透過率[%]	評価
0. 1	×
0. 2	×
0. 3	×
0. 5	△
0. 7	△
1. 0	○
2. 0	○
5. 0	○
10	○
20	○
30	○
40	○
50	○
60	△
70	×

Evaluation notation: It is x real use failure with difficulty [0103] a little to \*\* real use which is equal to

O real use. Thus, when transmission is smaller than 1%, it acts as the monitor of the light of 10-microwatt level to communicative mW level, but since the range of fluctuation is smaller than it, sufficient light to detect and control fluctuation of a laser output is not led to a photo detector side, but fluctuation is looked at by the output of semiconductor laser. On the other hand, in the field in which permeability exceeds 50%, the energy expenditure of the side which controls the output of semiconductor laser became what has the large and bad effectiveness as a system compared with the signal transmission. In addition, when using it as an actual system, 30% or less 2% or more has desirable permeability on a system design. Therefore, since it was not based on an external temperature change but a laser output was controlled by the compact module to stability by making it such a configuration, the reliable optical transmission system has been built. Moreover, it turned out that it is practical to make light transmittance of the mirror which branches the optical output from the semiconductor laser in that case 50% or less 1% or more.

[0104] Here, although the number of semiconductor devices was made into four pieces, a required number may be used suitably by the data transmitted [ pieces / 8, / 12, 16, etc. ] at least one piece. Moreover, although optical coupling was carried out to optical waveguide, the multimode fiber is suitable for the field which an optical fiber may be used, the single mode fiber is suitable for transmitting mass information at a long range, and the plastic optical fiber (POF) is suitable for making it low cost for a short distance, and was able to balance both, and it can be used suitably.

[0105] Next, the example which formed the electrode and mirror of a photo detector in one is shown in drawing 7 as another example of this invention. It mounted with the drive circuit and the laser output-control section which are not illustrating the long-wavelength-region surface-emitting type semiconductor laser component shown in drawing 1 on Si substrate. In addition, the 1.2-micrometer thing was used for oscillation wavelength. On the other hand, a \*\* mirror is formed [ whether it is p mold electrode and the reflective mirror of the photodetection side, and ] using the photodiode using the GaAsP ingredient as a photo detector for monitors like an example 1. Au film with a thickness of 300nm which 1.2-micrometer light does not penetrate was vapor-deposited, opening of the shape of a random circle of the diameter of 0.7-5 micrometer was formed, and the permeability of a mirror was made into 5%. To the laser component, it fixed at the include angle of 45 degrees, this output was electrically connected to the laser output-control section, and the laser output of a semiconductor laser output was controlled. On the other hand, the optical axis of the laser beam through this mirror and the optical axis of the multimode fiber of the core diameter of 50 micrometers and 125 micrometers of diameters of a clad were made in agreement, it connected optically, and the optical transmission system was built. Since a module with them can be formed and a laser output can be controlled by making it such a configuration to stability, a reliable optical transmission system can be built. [ there are few components mark and compact ]

[0106] here -- the electrode of the photo detector for monitors, and Miller -- although previously formed in one, it forms in the front face of the photo detector for monitors, there is only a function as a mirror, and it is not necessary to serve as the component of the photo detector for monitors like an electrode

[0107] Next, the example which formed Miller in the optical waveguide end face is shown in drawing 8 as another example of this invention. It mounted with the drive circuit and the laser output-control section which are not illustrating the long-wavelength-region surface-emitting type semiconductor laser array component shown in drawing 2 on Si substrate. In addition, a laser element number is four pieces and the 1.3-micrometer thing was used for 200 micrometers and oscillation wavelength by the pitch. Optical waveguide was formed on the substrate like the example 1. After optical waveguide formed the clad, it used fluorination polyimide for the core, performed patterning, and formed the cladding layer in the upper layer. Size of a core was set to 50x50 micrometers. This waveguide carries out optical coupling to the optical fiber which is not illustrated after module formation, and is making long-distance communication system. As optical waveguide, inorganic film, such as polymer waveguides, such as PMMA, an epoxy resin and polyurethane, and polyethylene, and silicon oxide, can also be used besides polyimide. Moreover, the formation approach also combines spreading and patterning of a spin coat, a DIP coat, etc., or what is depended on resin mold metallurgy mold processing is used. The end face was

processed into 45 degrees for this waveguide using the diamond blade, Au was vapor-deposited to the end face, and the permeability as Miller was made into 3%. The optical axis was made in agreement, such optical waveguide and semiconductor laser were combined optically, the photo detector for monitors was fixed on the optical axis which branched by Miller, the output was electrically connected to the laser output-control section, and the optical transmission system which can control a laser output was built. Since a module with them can be formed and a laser output can be controlled by making it such a configuration to stability, a reliable optical transmission system can be built. [ there are few components mark and compact ]

[0108]

[Effect of the Invention] The laser oscillation wavelength it is expected that fiber optics communication, such as a trunk system of a computer network and long-distance high capacity communication, is sets in the field of 1.1-micrometer band - 1.7-micrometer band. (Effectiveness corresponding to claim 1)

Although the communication system using the surface-emitting type semiconductor laser and it which can make operating voltage, an oscillation threshold current, etc. low, and can perform the oscillation stabilized by generation of heat of a laser component few did not exist By devising a semi-conductor distribution Bragg reflection mirror like this invention, operating voltage, an oscillation threshold current, etc. could be made low, and the oscillation stabilized by generation of heat of a laser component few was completed, and the practical optical transmission system has been realized by low cost.

[0109] Furthermore, by carrying out the monitor of the optical output from semiconductor laser, and controlling fluctuation of the optical output by aging or the temperature change, the optical output was stabilized and the reliable optical transmission system has been realized.

[0110] The laser oscillation wavelength it is expected that fiber optics communication, such as a trunk system of a computer network and long-distance high capacity communication, is sets in the field of 1.1-micrometer band - 1.7-micrometer band. (Effectiveness corresponding to claim 2) Although it was stabilized and the communication system using the long-wavelength-region side luminescence semiconductor laser and it which can be used did not exist The oscillation stabilized by considering as the surface-emitting type semiconductor laser component chip which comes to prepare a nonluminescent recombination prevention layer like this invention was attained, and the practical optical transmission system which made this the luminescence light source has been realized.

[0111] Furthermore, by carrying out the monitor of the optical output from semiconductor laser, and controlling fluctuation of the optical output by aging or the temperature change, the optical output was stabilized and the reliable optical transmission system has been realized.

[0112] (Effectiveness corresponding to claim 3) In such an optical transmission system, the optical transmission system with high effectiveness was realizable, branching sufficient light to control a semiconductor laser optical output to the photo detector for monitors by making light transmittance of Miller who branches the optical output from semiconductor laser 50% or less 1% or more.

[0113] (Effectiveness corresponding to claim 4) In such an optical transmission system, components mark have realized few compact optical transmission systems by forming Miller who branches the optical output from semiconductor laser in the mounting substrate which fixes an optical fiber or optical waveguide, and a monolithic.

[0114] (Effectiveness corresponding to claim 5) In such an optical transmission system, since it considered as the structure where the branching means was able to be established in common, there were few components mark, and they did not need to perform branching means each laser component or optical waveguide, and one by one, reduction of assembly cost could be aimed at, and the compact low cost optical transmission system has been realized.

[0115] (Effectiveness corresponding to claim 6) In such an optical transmission system, or it used as a part of photo detector Miller who branches the optical output from semiconductor laser, components mark have realized few compact optical transmission systems by forming in the front face.

[0116] (Effectiveness corresponding to claim 7) In such an optical transmission system, by forming in an optical fiber or an optical waveguide end face Miller who branches the optical output from semiconductor laser, the optical path length was small and components mark have realized few compact

optical transmission systems.

---

[Translation done.]

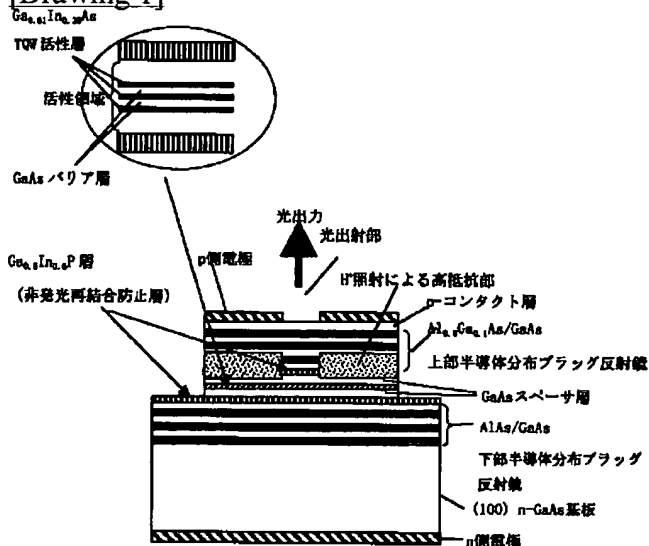
## \* NOTICES \*

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

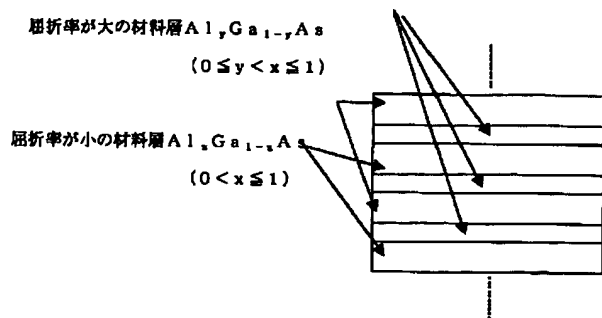
## DRAWINGS

[Drawing 1]

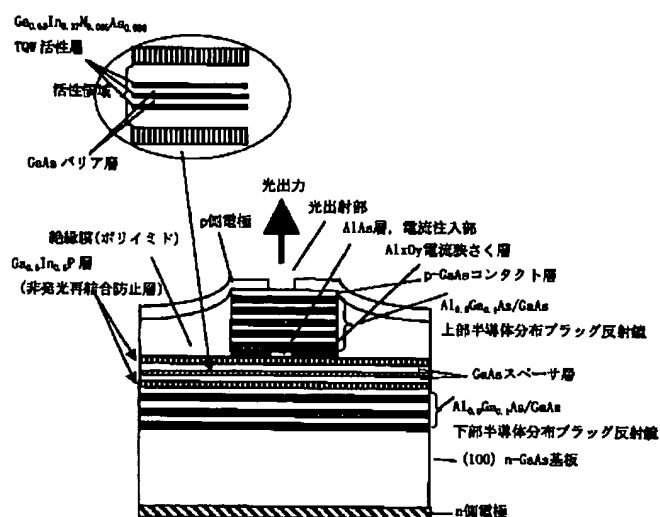


[Drawing 2]

屈折率が小と大の間の値をとる材料層  $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$  ( $0 \leq y < z < x \leq 1$ )

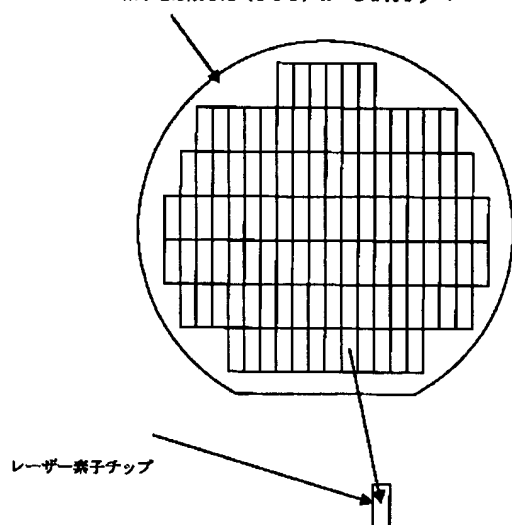


[Drawing 3]

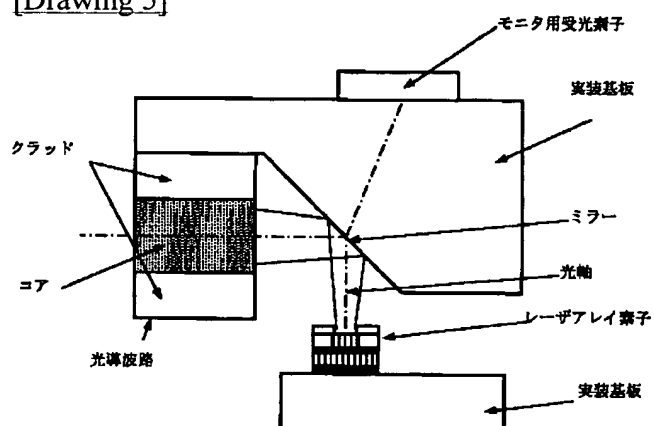


[Drawing 4]

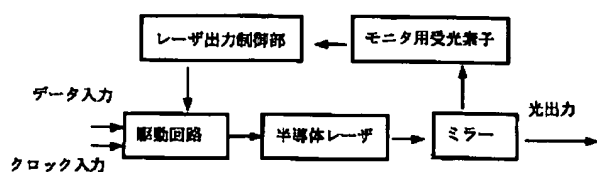
レーザ素子を形成した (100) n-GaAs ウエハ



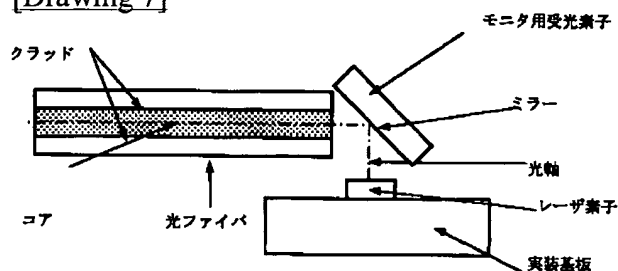
[Drawing 5]



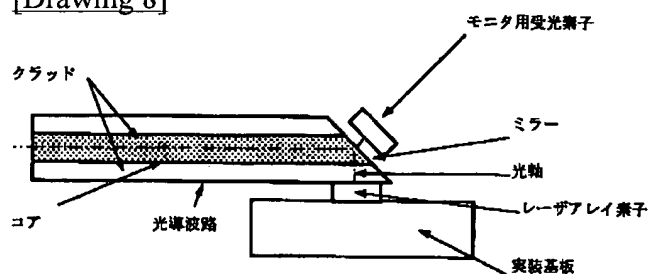
[Drawing 6]



[Drawing 7]



[Drawing 8]



[Translation done.]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-252418

(P2002-252418A)

(43) 公開日 平成14年9月6日 (2002.9.6)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テーマコード(参考)

H 0 1 S 5/183

H 0 1 S 5/183

2 H 0 3 7

G 0 2 B 6/42

G 0 2 B 6/42

5 F 0 7 3

H 0 1 S 5/022

H 0 1 S 5/022

5/343

5/343

5/40

5/40

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2001-51265(P2001-51265)

(71) 出願人 000006747

株式会社リコー

東京都大田区中馬込1丁目3番6号

(22) 出願日 平成13年2月26日 (2001.2.26)

(72) 発明者 鈴木 幸栄

東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式会社リコー内

(72) 発明者 桜井 彰

東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式会社リコー内

(72) 発明者 加藤 正良

東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式会社リコー内

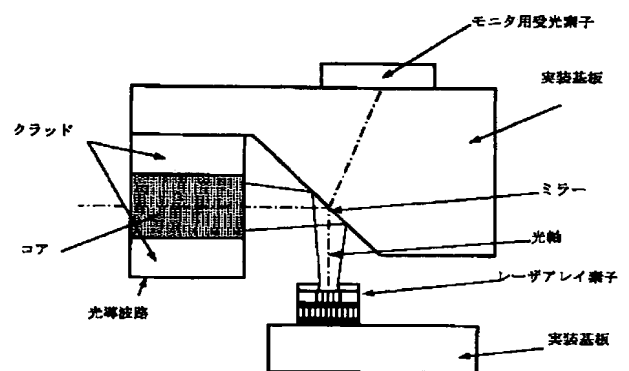
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光通信システム

(57) 【要約】

【課題】 モニタ用受光素子に半導体レーザ光出力を制御するのに十分な光を分岐し、光出力を安定化させ、信頼性、効率の高い光通信システムを提供する。

【解決手段】 レーザチップは発振波長が $1.1\mu\text{m}$ ～ $1.7\mu\text{m}$ であり、レーザ光を得るために活性層の上部および下部に設けられた反射鏡を含んだ共振器構造を有する面発光型半導体レーザ素子チップとする。反射鏡はそれを構成する材料層の屈折率が小/大と周期的に変化し入射光を光波干渉によって反射する半導体分布ブラッグ反射鏡で、屈折率が小の材料層は $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $0 < x \leq 1$ ) とし、前記屈折率が大の材料層は $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$  ( $0 \leq y < x \leq 1$ ) とする。ここで、モニタ用受光素子の出力を用いて半導体レーザの光出力を制御するようにする。この光出力を分岐する分岐手段において、使用波長帯での光透過率を1%以上50%以下とし、モニタ用受光素子も独立して複数とする。





(2)

1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 レーザチップと該レーザチップから出射したレーザ光を分岐する分岐手段と、該分岐されたレーザ光と光結合している光伝送路としての光ファイバもしくは光導波路と、分岐された他方のレーザ光をモニタする受光素子とを含む光通信システムにおいて、前記レーザチップは発振波長が $1.1\mu\text{m}\sim 1.7\mu\text{m}$ であり、光を発生する活性層を、主たる元素がGa、In、N、Asからなる層、もしくはGa、In、Asよりなる層とし、レーザ光を得るために前記活性層の上部および下部に設けられた反射鏡を含んだ共振器構造を有する面発光型半導体レーザ素子チップであって、前記反射鏡はそれを構成する材料層の屈折率が小／大と周期的に変化し入射光を光波干渉によって反射する半導体分布ブラッグ反射鏡であるとともに、前記屈折率が小の材料層は $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $0 < x \leq 1$ ) とし、前記屈折率が大の材料層は $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$  ( $0 \leq y < x \leq 1$ ) とした反射鏡であり、かつ前記屈折率が小と大の材料層の間に該屈折率が小と大の間の値をとる材料層 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$  ( $0 \leq y < z < x \leq 1$ ) を設けてなる面発光型半導体レーザ素子チップを発光光源とした光通信システムであって、前記モニタ用受光素子の出力を用いて、半導体レーザの光出力を制御することを特徴とする光通信システム。

【請求項2】 レーザチップと該レーザチップから出射したレーザ光を分岐する分岐手段と、該分岐されたレーザ光と光結合している光伝送路としての光ファイバもしくは光導波路と、分岐された他方のレーザ光をモニタする受光素子とを含む光通信システムにおいて、前記レーザチップは発振波長が $1.1\mu\text{m}\sim 1.7\mu\text{m}$ であり、光を発生する活性層を、主たる元素がGa、In、N、Asからなる層、もしくはGa、In、Asよりなる層とし、レーザ光を得るために前記活性層の上部および下部に設けられた反射鏡を含んだ共振器構造を有する面発光型半導体レーザ素子チップであって、前記反射鏡はそれを構成する材料の屈折率が小／大と周期的に変化し入射光を光波干渉によって反射する半導体分布ブラッグ反射鏡であるとともに、前記屈折率が小の材料は $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $0 < x \leq 1$ ) とし、前記屈折率が大の材料は $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$  ( $0 \leq y < x \leq 1$ ) とした反射鏡であり、前記活性層と前記反射鏡の間にGaInPもしくはGaInPAsよりなる非発光再結合防止層を設けてなる面発光型半導体レーザ素子チップを発光光源とし光通信システムであって、前記モニタ用受光素子の出力を用いて、半導体レーザの光出力を制御することを特徴とする光通信システム。

【請求項3】 前記半導体レーザからの光出力を分岐する分岐手段において、使用波長帯での光透過率を1%以上50%以下にすることを特徴とする請求項1または2記載の光通信システム。

2

【請求項4】 前記分岐手段は光ファイバまたは光導波路を固定する実装基板の一部をなすことを特徴とする請求項1または2記載の光通信システム。

【請求項5】 前記半導体レーザは、独立した複数の発光素子よりなり、それに対応して、光ファイバもしくは光導波路およびモニタ用受光素子も独立して複数あるとともに、前記分岐手段はそれらに共通的に設けられた構造である分岐手段であることを特徴とする請求項1から4のいずれか1項に記載の光通信システム。

【請求項6】 前記分岐手段は受光素子の一部であるまたは表面に形成されていることを特徴とする請求項1から3のいずれか1項に記載の光通信システム。

【請求項7】 前記分岐手段は光ファイバまたは導波路の端面に形成されていることを特徴とする請求項1から3のいずれか1項に記載の光通信システム。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は光通信などに用いられる半導体レーザならびにその光通信システムに関するものであり、中でも半導体レーザとして製作に使用する半導体基板面に対して垂直方向に光を発するいわゆる面発光レーザを用い複数のレーザ素子を形成して、大容量の通信を可能にした光通信システムに関する。

## 【0002】

【従来の技術】 面発光半導体レーザは、基板の表面から垂直方向にレーザ光を放射するので2次元並列集積が可能であり、更に、その出力光の広がり角が比較的狭い（10度前後）ので光ファイバとの結合が容易であるほか、素子の検査が容易であるという特徴を有している。そのため、特に、並列伝送型の光送信モジュール（光インタコネクション装置）を構成するのに適した素子として開発が盛んに行なわれている。光インタコネクション装置の当面の応用対象は、コンピュータ等の筐体間やボード間の並列接続のほか、短距離の光ファイバー通信であるが、将来の期待される応用として大規模なコンピュータ・ネットワークや長距離大容量通信の幹線系がある。

【0003】 一般に、面発光半導体レーザは、GaAsまたはGaInAsからなる活性層と、当該活性層を上下に挟んで配置された上部の半導体分布ブラッグ反射鏡と基板側の下部の半導体分布ブラッグ反射鏡からなる光共振器をもって構成するのが普通であるが、端面発光型半導体レーザの場合に比較して光共振器の長さが著しく短いため、反射鏡の反射率を極めて高い値（99%以上）に設定することによってレーザ発振を起こし易くする必要がある。このため、通常は、AlAsからなる低屈折率材料とGaAsからなる高屈折率材料を1/4波長の周期で交互に積層することによって形成した半導体分布ブラッグ反射鏡が使用されている。

【0004】 ところで上記のように、光通信に使用され

(3)

3

るようなレーザ波長が1.1  $\mu\text{m}$ 以上の長波長帯レーザ、例えばレーザ波長が1.3  $\mu\text{m}$ 帯や1.55  $\mu\text{m}$ 帯であるような長波長帯レーザは、製作基板にInPが用いられ、活性層にInGaAsPが用いられるが、基板のInPの格子定数が大きく、これに整合する反射鏡材料では屈折率差が大きく取れず、従って積層数を40対以上とする必要がある。またInP基板上に形成される半導体レーザには、別の問題として、温度によって特性が大きく変化する点がある。そのため、温度を一定にする装置を付加して使用する必要があり、民生用等一般用に供することが困難であり、このような積層数と温度特性の問題から、実用的な長波長帯面発光半導体は、未だ実用化されるに至っていない。

【0005】このような問題を解決するためになされた発明として、特開平9-237942号公報に開示されたものが知られている。それによると、製作基板としてGaAs基板を用い、基板側の下部上部のうち少なくとも一方の半導体分布ブラッグ反射鏡の低屈折率層に同基板と格子整合が取れるAlInPからなる半導体層を用い、さらに、下部上部のうち少なくとも一方の半導体分布ブラッグ反射鏡の高屈折率層にGaInNAsからなる半導体層を用い、従来よりも大きい屈折率差を得るようにし、少ない積層数で高反射率の半導体分布ブラッグ反射鏡を実現しようというものである。

【0006】また、GaInNAsを活性層の材料として使用している。これは、N組成を増加させることによってバンドギャップ（禁制帯幅）を1.4 eVから0 eVへ向かって低下させることができるので、0.85  $\mu\text{m}$ よりも長い波長を発光する材料として用いることが可能となるからである。しかもGaAs基板と格子整合が可能なので、GaInNAsからなる半導体層は、1.3  $\mu\text{m}$ 帯および1.55  $\mu\text{m}$ 帯の長波長帯面発光半導体レーザのための材料として好ましい点についても言及している。

【0007】しかしながら、従来は0.85  $\mu\text{m}$ よりも長い波長帯の面発光半導体レーザ実現の可能性を示唆するにとどまっているだけであり、実際にはそのようなものは実現していない。これは基本的な構成は理論的にはほぼ決まってはいるものの実際に安定したレーザ発光が得られるようにするためのより具体的な構成がまだ不明だからである。

【0008】一例を挙げると、上記のようにAlAsからなる低屈折率材料とGaAsからなる高屈折率材料を1/4波長の周期で交互に積層することによって形成した半導体分布ブラッグ反射鏡を使用したものや、あるいは特開平9-237942号公報に開示されたもののように、半導体分布ブラッグ反射鏡の低屈折率層に同基板と格子整合が取れるAlInPからなる半導体層を用いたものにおいては、レーザ素子が全く発光しなかったり、あるいは、発光してもその発光効率が低く、実用レベル

4

には程遠いものであった。これは、Alを含んだ材料が化学的に非常に活性であり、Alに起因する結晶欠陥が生じ易いためである。これを解決するためには、特開平8-340146号公報や特開平7-307525号公報に開示された発明のようにAlを含まないGaInNPとGaAsとから半導体分布ブラッグ反射鏡を構成する提案がある。しかしながらGaInNPとGaAsとの屈折率差はAlAsとGaAsとの屈折率差に比べて約半分であり、反射鏡の積層数を非常に多くなり製作が困難となる。

【0009】すなわち現状では、コンピュータ・ネットワークなどで光ファイバー通信が期待されているが、それに使用できるレーザ波長が1.1  $\mu\text{m}$ ~1.7  $\mu\text{m}$ の長波長帯面発光半導体レーザおよびそれを用いた通信システムが存在せず、その出現が切望されている。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】本発明はこのような光通信などに用いられるレーザ発振波長が1.1  $\mu\text{m}$ ~1.7  $\mu\text{m}$ の長波長帯面発光半導体レーザならびにその光通信システムに関するものであり、その第1の目的は、動作電圧、発振閾値電流等を低くできる面発光型半導体レーザ素子チップを発光光源として利用することによって低消費電力で、半導体レーザの光出力を安定化することによって信頼性の高い、光通信システムを提案することにある。

【0011】また第2の目的は、安定して使用できるレーザ発振波長が1.1  $\mu\text{m}$ ~1.7  $\mu\text{m}$ の長波長帯面発光半導体レーザ素子チップを発光光源として利用し、信頼性が高く実用的で、半導体レーザの光出力を安定化することによって信頼性の高い、光通信システムを提案することにある。

【0012】さらに第3の目的は、このような光通信システムにおいて、モニタ用受光素子に半導体レーザ光出力を制御するのに十分な光を分岐しつつ、効率の高い光通信システムを提案することにある。

【0013】また第4の目的は、このような光通信システムにおいて、分岐手段を光ファイバまたは光導波路を固定する実装基板にモノリシックに形成することで、部品点数が少なくコンパクトな光通信システムを提案することにある。

【0014】さらに第5の目的は、このような分岐手段を共通化することにより、部品点数を減らし、コンパクトかつ低コストな光通信システムを提案することにある。

【0015】また第6の目的は、このような光通信システムにおいて、分岐手段をモニタ用受光素子面に形成することで、部品点数が少なくコンパクトな光通信システムを提案することにある。

【0016】さらに第7の目的は、このような光通信システムにおいて、分岐手段を光ファイバまたは光導波路

50

(4)

5

端面に形成することで、光路長が小さく、部品点数が少なくコンパクトな光通信システムを提案することにある。

【0017】

【課題を解決するための手段】レーザチップと該レーザチップから出射したレーザ光を分岐する分岐手段と、該分岐されたレーザ光と光結合している光伝送路としての光ファイバもしくは光導波路と、分岐された他方のレーザ光をモニタする受光素子とを含む光通信システムにおいて、前記レーザチップは発振波長が $1.1\mu\text{m}\sim 1.7\mu\text{m}$ であり、光を発生する活性層を、主たる元素がGa、In、N、Asからなる層、もしくはGa、In、Asよりなる層とし、レーザ光を得るために前記活性層の上部および下部に設けられた反射鏡を含んだ共振器構造を有する面発光型半導体レーザ素子チップであって、前記反射鏡はそれを構成する材料層の屈折率が小／大と周期的に変化し入射光を光波干渉によって反射する半導体分布ブラッグ反射鏡であるとともに、前記屈折率が小の材料層は $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $0 < x \leq 1$ ) とし、前記屈折率が大の材料層は $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$  ( $0 \leq y < x \leq 1$ ) とした反射鏡であり、かつ前記屈折率が小と大の材料層の間に該屈折率が小と大の間の値をとる材料層 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$  ( $0 \leq y < z < x \leq 1$ ) を設けてなる面発光型半導体レーザ素子チップを発光光源とした光通信システムであって、前記モニタ用受光素子の出力をもちいて、半導体レーザの光出力を制御するようにした。

【0018】また第2に、レーザチップと該レーザチップから出射したレーザ光を分岐する分岐手段と、該分岐されたレーザ光と光結合している光伝送路としての光ファイバもしくは光導波路と、分岐された他方のレーザ光をモニタする受光素子とを含む光通信システムにおいて、前記レーザチップは発振波長が $1.1\mu\text{m}\sim 1.7\mu\text{m}$ であり、光を発生する活性層を、主たる元素がGa、In、N、Asからなる層、もしくはGa、In、Asよりなる層とし、レーザ光を得るために前記活性層の上部および下部に設けられた反射鏡を含んだ共振器構造を有する面発光型半導体レーザ素子チップであって、前記反射鏡はそれを構成する材料の屈折率が小／大と周期的に変化し入射光を光波干渉によって反射する半導体分布ブラッグ反射鏡であるとともに、前記屈折率が小の材料は $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $0 < x \leq 1$ ) とし、前記屈折率が大の材料は $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$  ( $0 \leq y < x \leq 1$ ) とした反射鏡であり、前記活性層と前記反射鏡の間にGaInPもしくはGaInPAsよりなる非発光再結合防止層を設けてなる面発光型半導体レーザ素子チップを発光光源とし光通信システムであって、前記モニタ用受光素子の出力をもちいて、半導体レーザの光出力を制御するようにした。

【0019】さらに第3に、上記第1、第2の光通信システムにおいて、前記半導体レーザからの光出力を分岐

6

する分岐手段において、使用波長帯での光透過率を1%以上50%以下にするようにした。

【0020】また第4に、上記第1、第2の光通信システムにおいて、前記分岐手段は光ファイバまたは光導波路を固定する実装基板の一部をなすようにした。

【0021】さらに第5に、上記第1～第4の光通信システムにおいて、前記半導体レーザは、独立した複数の発光素子よりなり、それに対応して、光ファイバもしくは光導波路およびモニタ用受光素子も独立して複数あるとともに、前記分岐手段はそれらに共通的に設けられた構造である分岐手段であるようにした。

【0022】また第6に、上記第1、第2、第3の光通信システムにおいて、前記分岐手段は受光素子の一部であるまたは表面に形成されているようにした。

【0023】さらに第7に、上記第1、第2、第3の光通信システムにおいて、前記分岐手段は光ファイバまたは導波路の端面に形成されているようにした。

【0024】

【発明の実施の形態】最初に本発明の光通信システムに適用される発光素子である伝送ロスが少ないレーザ発振波長が $1.1\mu\text{m}\sim 1.7\mu\text{m}$ の長波長帯面発光半導体レーザの1例について図1を用いて説明する。

【0025】前述のように、従来は本発明が適用しようとしているレーザ発振波長が $1.1\mu\text{m}\sim 1.7\mu\text{m}$ の長波長帯面発光半導体レーザに関しては、その可能性の示唆があるのみで、実現のための材料、ならびにより具体的、詳細な構成は不明であった。本発明では、活性層としてGaInNAs等の材料を使用し、さらに具体的な構成を明確にした。以下にそれを詳述する。

【0026】本発明では、面方位(100)のn-GaAs基板上に、それぞれの媒質内における発振波長 $\lambda$ の $1/4$ 倍の厚さ( $\lambda/4$ の厚さ)でn- $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $x=1.0$ ) (低屈折率層～屈折率小の層)とn- $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$  ( $y=0$ ) (高屈折率層～屈折率大の層)を交互に35周期積層したn-半導体分布ブラッグ反射鏡(AlAs/GaAs下部半導体分布ブラッグ反射鏡)を形成し、その上に $\lambda/4$ の厚さのn- $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{PyAs}_{1-y}$  ( $x=0.5, y=1$ ) 層を積層した。この例ではn- $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{PyAs}_{1-y}$  ( $x=0.5, y=1$ ) 層も下部反射鏡の一部であり低屈折率層(屈折率小の層)となっている。

【0027】そしてその上にアンドープ下部GaAsスペーサ層と、3層の $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}$ 量子井戸層である活性層(量子井戸活性層)とGaAsバリア層(20nm)からなる多重量子井戸活性層と、アンドープ上部GaAsスペーサ層とが積層されて、媒質内における発振波長 $\lambda$ の1波長分の厚さ( $\lambda$ の厚さ)の共振器を形成している。

【0028】さらにその上に、C(炭素)ドーパのp- $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{PyAs}_{1-y}$  ( $x=0.5, y=1$ ) 層とZ

(5)

7

n ドープ  $p\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $x=0$ ) をそれぞれの媒質内における発振波長  $\lambda$  の  $1/4$  倍の厚さで交互に積層した周期構造 (1 周期) を積層し、その上に C ドープの  $p\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $x=0.9$ ) と Zn ドープ  $p\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $x=0$ ) をそれぞれの媒質内における発振波長  $\lambda$  の  $1/4$  倍の厚さで交互に積層した周期構造 (2.5 周期) とからなる半導体分布ブラッグ反射鏡 ( $\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}/\text{GaAs}$  上部半導体分布ブラッグ反射鏡) を形成している。この例では  $p\text{-Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{PyAs}_{1-y}$  ( $x=0.5, y=1$ ) 層も上部反射鏡の一部であり、低屈折率層 (屈折率小の層) となっている。

【0029】なおここで、上部/下部反射鏡ともそれぞれ低屈折率層 (屈折率小の層) / 高屈折率層 (屈折率大の層) を交互に積層して形成するが、本発明ではこれらの間に、屈折率が小と大の間の値をとる材料層  $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$  ( $0 \leq y < z < x \leq 1$ ) を設けている。図2は、低屈折率層 (屈折率小の層) と高屈折率層 (屈折率大の層) の間に、屈折率が小と大の間の値をとる材料層  $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$  ( $0 \leq y < z < x \leq 1$ ) を設けた半導体分布ブラッグ反射鏡の一部を示したものである (図1では図が複雑になるので図示することを省略している)。

【0030】従来レーザ波長が  $0.85 \mu\text{m}$  帯の半導体レーザに関して、このような材料層を設けることも検討はされているが、まだ検討段階であり、その材料、あるいはその厚さなどまで詳細には検討されていない。また本発明のようなレーザ発振波長が  $1.1 \mu\text{m} \sim 1.7 \mu\text{m}$  の長波長帯面発光半導体レーザに関しては全く検討されていない。その理由はこの分野 (レーザ発振波長が  $1.1 \mu\text{m} \sim 1.7 \mu\text{m}$  の長波長帯面発光半導体レーザ) が新しい分野であり、まだほとんど研究が進んでいないからである。

【0031】本発明者はいち早くこの分野 (レーザ発振波長が  $1.1 \mu\text{m} \sim 1.7 \mu\text{m}$  の長波長帯面発光半導体レーザおよびそれを用いた光通信) の有用性に気付き、それを実現するために鋭意検討を行った。

【0032】このような材料層は形成時にガス流量をコントロールするなどして、その Al 組成を連続的もしくは段階的に変えるようにしてその材料層の屈折率が連続的もしくは段階的に変化するようにして形成する。

【0033】より具体的には、 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$  ( $0 \leq y < z < x \leq 1$ ) 層の  $z$  の値を 0 から 1.0 まで変わるように、つまり  $\text{GaAs} \sim \text{AlGaAs} \sim \text{AlAs}$  という具合に Al と Ga の比率が徐々に変わるようにして形成する。これは前述のように層形成時にガス流量をコントロールすることによって作成される。また、Al と Ga の比率が前述のように連続的に変わるようにして形成しても良いし、段階的にその比率が変わるようにしても同等の効果がある。

【0034】このような材料層を設ける理由は、半導体

8

分布ブラッグ反射鏡の持つ問題点の一つである p-半導体分布ブラッグ反射鏡の電気抵抗が高いという課題を解決するためである。これは半導体分布ブラッグ反射鏡を構成する 2 種類の半導体層の界面に生じるヘテロ障壁が原因であるが、本発明のように低屈折率層と高屈折率層の界面に一方の組成から他方の組成へ次第に Al 組成が変化するようにして、屈折率も変化させることによってヘテロ障壁の発生を抑制することが可能である。

【0035】またこのような屈折率が小と大の間の値をとる材料層  $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$  ( $0 \leq y < z < x \leq 1$ ) は本発明のようなレーザ発振波長が  $1.1 \mu\text{m} \sim 1.7 \mu\text{m}$  の長波長帯面発光半導体レーザの場合、 $5 \text{nm} \sim 50 \text{nm}$  の厚さとするのが良く、これより薄いと抵抗が大となり電流が流れにくく、素子が発熱したり、駆動エネルギーが高くなるという不具合がある。また厚いと抵抗が小となり、素子の発熱や、駆動エネルギーの面で有利になるが、今度は反射率がとれないという不具合があり、前述のように最適の範囲 ( $5 \text{nm} \sim 50 \text{nm}$  の厚さ) を選ぶ必要がある。

【0036】なお、前述のように従来のレーザ波長が  $0.85 \mu\text{m}$  帯の半導体レーザに関してこのような材料層を設けることも検討されているが、本発明のようなレーザ発振波長が  $1.1 \mu\text{m} \sim 1.7 \mu\text{m}$  の長波長帯面発光半導体レーザの場合は、より効果的である。なぜなら、例えば同等の反射率 (例えば  $99.5\%$  以上) を得るためには、 $0.85 \mu\text{m}$  帯よりも  $1.1 \mu\text{m}$  帯  $\sim 1.7 \mu\text{m}$  帯の場合、このような材料層を約 2 倍程度にすることができ、半導体分布ブラッグ反射鏡の抵抗値を低減させることができ、動作電圧、発振閾値電流等が低くなり、レーザ素子の発熱防止ならびに安定発振、少エネルギー駆動の面で有利となる。

【0037】つまり半導体分布ブラッグ反射鏡にこのような材料層を設けることは、本発明のようなレーザ発振波長が  $1.1 \mu\text{m} \sim 1.7 \mu\text{m}$  の長波長帯面発光半導体レーザの場合に特に効果的な工夫といえる。

【0038】なお効果的な反射率を得るためのより詳細な検討結果の一例を挙げると、例えば  $1.3 \mu\text{m}$  帯面発光型レーザ素子では、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $x=1.0$ ) (低屈折率層  $\sim$  屈折率小の層) と  $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$  ( $y=0$ ) (高屈折率層  $\sim$  屈折率大の層) を 20 周期積層した場合においては、半導体分布ブラッグ反射鏡の反射率が  $99.7\%$  以下となる  $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$  ( $0 \leq y < z < x \leq 1$ ) 層の厚さは  $30 \text{nm}$  である。また、反射率が  $99.5\%$  以上となる波長帯域は  $53 \text{nm}$  であり、反射率を  $99.5\%$  以上と設計した場合、 $\pm 2\%$  の膜厚制御ができればよい。そこでこれと同等およびこれより薄い、 $10 \text{nm}$ 、 $20 \text{nm}$ 、 $30 \text{nm}$  のものを試作したところ、反射率を実用上問題のない程度に保つことができ、半導体分布ブラッグ反射鏡の抵抗値を低減させることができた  $1.3 \mu\text{m}$  帯面発光型レーザ素子を実現、レ

9

ーザ発振に成功した。なお試作したレーザ素子の他の構成は後述のとおりである。

【0039】なお多層膜反射鏡においては設計波長（膜厚制御が完全にできたとして）を含んで反射率の高い帯域がある。高反射率の帯域（反射率が狙いの波長に対して必要値以上である領域を含む）と呼ぶ。設計波長の反射率が最も高く、波長が離れるにしたがってごくわずかずつつ低下している領域である。これはある領域から急激に低下する。そして狙いの波長に対して必要な反射率以上となるように、本来、多層膜反射鏡の膜厚を原子層レベルで完全に制御する必要がある。しかし実際には±1%程度の膜厚誤差は生じるので狙いの波長と最も反射率の高い波長はずれてしまう。例えば狙いの波長が1.3 μmの場合、膜厚制御が1%ずれたとき、最も反射率の高い波長は13 nmずれてしまう。よってこの高反射率の帯域（ここでは反射率が狙いの波長に対して必要値以上である領域）は広い方が望ましい。しかし中間層を厚くするとこの帯域が狭くなる傾向にある。

【0040】このように本発明のようなレーザ発振波長が1.1 μm～1.7 μmの長波長帯面発光半導体レーザにおいて、このような半導体分布ブラッグ反射鏡の構成を工夫、最適化することにより、反射率を高く維持したまま抵抗値を低減させることができるので、動作電圧、発振閾値電流等を低くでき、レーザ素子の発熱防止ならびに安定発振、少エネルギー駆動が可能となる。

【0041】再び図1に戻り、最上部の、 $p\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $x=0$ ) 層は、電極とコンタクトを取るためのコンタクト層（ $p$ -コンタクト層）としての役割も持っている。

【0042】ここで、量子井戸活性層のIn組成 $x$ は39% ( $\text{Ga}_{0.61}\text{In}_{0.39}\text{As}$ ) とした。また量子井戸活性層の厚さは7 nmとした。なお量子井戸活性層は、 $\text{GaAs}$  基板に対して約2.8%の圧縮歪を有していた。

【0043】またこの面発光型半導体レーザ全体の成長方法はMOCVD法で行った。この場合、格子緩和は見られなかった。半導体レーザの各層を構成する原料には、TMA（トリメチルアルミニウム）、TMG（トリメチルガリウム）、TMI（トリメチルインジウム）、 $\text{AsH}_3$ （アルシン）、 $\text{PH}_3$ （フォスフィン）を用いた。また、キャリアガスには $\text{H}_2$ を用いた。図1に示した素子の活性層（量子井戸活性層）のように歪が大きい場合は、非平衡となる低温成長が好ましい。ここでは、 $\text{GaInAs}$  層（量子井戸活性層）は550℃で成長させている。ここで使用したMOCVD法は過飽和度が高く高歪活性層の結晶成長に適している。またMBE法のような高真空を必要とせず、原料ガスの供給流量や供給時間を制御すれば良いので量産性にも優れている。

【0044】またこの例では、電流経路外の部分をプロトン ( $\text{H}^+$ ) 照射によって絶縁層（高抵抗部）を作って、電流狭さく部を形成した。

(6)

10

【0045】そしてこの例では、上部反射鏡の最上部の層であり上部反射鏡一部となっている $p$ -コンタクト層上に光出射部を除いて $p$ 側電極を形成し、基板の裏面に $n$ 側電極を形成した。

【0046】この例では、上下反射鏡に挟まれた、キャリアが注入され再結合する活性領域（本実施例では上部および下部スペーサ層と多重量子井戸活性層とからなる共振器）において、活性領域内にはA1を含んだ材料（III族に占める割合が1%以上）を用いず、さらに、  
10 下部および上部反射鏡の低屈折率層の最も活性層に近い層を $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{PyAs}_{1-y}$  ( $0 < x < 1$ ,  $0 < y \leq 1$ ) の非発光再結合防止層としている。キャリアは、活性層に最も近くワイドギャップである上部および下部反射鏡の低屈折率層間に閉じ込められるので、活性領域のみをA1を含まない層（III族に占める割合が1%以下）で構成しても活性領域に接する反射鏡の低屈折率層（ワイドギャップ層）にA1を含んだ構造としたのでは、キャリアが注入され再結合する時、この界面で非発光再結合が生じ発光効率は低下してしまう。よって活性領域はA1を含まない層で構成することが望ましい。

【0047】またこの $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{PyAs}_{1-y}$  ( $0 < x < 1$ ,  $0 < y \leq 1$ ) 層よりなる非発光再結合防止層は、その格子定数が $\text{GaAs}$  基板よりも小さく、引張り歪を有している。

【0048】エピタキシャル成長では下地の情報を反映して成長するので基板表面に欠陥があると成長層へ這い上がっていく。しかし歪層があるとそのような欠陥の這い上がりやが抑えられ効果があることが知られている。

【0049】上記欠陥が活性層に達すると発光効率を低減させてしまう。また、歪を有する活性層では臨界膜厚が低減し必要な厚さの層を成長できないなどの問題が生じる。特に活性層の圧縮歪量が例えば2%以上と大きい場合や、歪層の厚さ臨界膜厚より厚く成長する場合、低温成長などの非平衡成長を行っても欠陥の存在で成長できないなど、特に問題となる。歪層があるとそのような欠陥の這い上がりやが抑えられるので、発光効率を改善したり、活性層の圧縮歪量が例えば2%以上の層を成長できたり、歪層の厚さを臨界膜厚より厚く成長することが可能となる。

【0050】この $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{PyAs}_{1-y}$  ( $0 < x < 1$ ,  $0 < y \leq 1$ ) 層は活性領域に接しており活性領域にキャリアを閉じ込める役割も持っているが、 $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{PyAs}_{1-y}$  ( $0 < x < 1$ ,  $0 < y \leq 1$ ) 層は格子定数が小さくなるほどバンドギャップエネルギーを大きく取り得る。例えば $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}$  ( $y=1$  の場合) の場合、 $x$  が大きくなり $\text{GaP}$  に近づくとき格子定数が大きくなり、バンドギャップは大きくなる。バンドギャップ $E_g$  は、直接遷移で $E_g(\Gamma) = 1.351 + 0.643x + 0.786x^2$ 、間接遷移で $E_g(X) = 2.24 + 0.02x$  と与えられて  
50 いる。よって活性領域と $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{PyAs}_{1-y}$  ( $0$

(7)

11

$x < 1$ ,  $0 < y \leq 1$ ) 層のヘテロ障壁は大きくなるのでキャリア閉じ込めが良好となり、しきい値電流低減、温度特性改善などの効果がある。

【0051】さらにこの  $Ga_xIn_{1-x}PyAs_{1-y}$  ( $0 < x < 1$ ,  $0 < y \leq 1$ ) 層よりなる非発光再結合防止層は、その格子定数が  $GaAs$  基板よりも大きく、圧縮歪を有しており、かつ前記活性層の格子定数が前記  $Ga_xIn_{1-x}PyAs_{1-y}$  ( $0 < x < 1$ ,  $0 < y \leq 1$ ) 層よりも大きく圧縮歪を有している。

【0052】またこの  $Ga_xIn_{1-x}PyAs_{1-y}$  ( $0 < x < 1$ ,  $0 < y \leq 1$ ) 層の歪の方向が活性層と同じ方向なので、活性層が感じる実質的な圧縮歪量を低減する方向に働く。歪が大きいほど外的要因の影響を受けやすいので、活性層の圧縮歪量が例えば 2% 以上と大きい場合や、臨界膜厚を超えた場合に特に有効である。

【0053】例えば発振波長が  $1.3 \mu m$  帯の面発光型レーザは  $GaAs$  基板上に形成するのが好ましく、共振器には半導体多層膜反射鏡を用いる場合が多く、トータル厚さが  $5 \sim 8 \mu m$  で 50~80 層の半導体層を活性層成長前に成長する必要がある。(一方、端面発光型レーザの場合、活性層成長前のトータル厚さは  $2 \mu m$  程度で 3 層程度の半導体層を成長するだけで良い。) この場合、高品質の  $GaAs$  基板を用いてもさまざまな原因(一度発生した欠陥は基本的には結晶成長方向に這い上がるし、ヘテロ界面での欠陥発生などがある)で  $GaAs$  基板表面の欠陥密度に比べて活性層成長直前の表面の欠陥密度はどうしても増えてしまう。活性層成長以前に、歪層の挿入や、活性層が感じる実質的な圧縮歪量が低減すると、活性層成長直前の表面にある欠陥の影響を低減できるようになる。

【0054】この例では、活性領域内および反射鏡と活性領域との界面に  $Al$  を含まない構成としたので、キャリア注入時に  $Al$  に起因していた結晶欠陥が原因となる非発光再結合がなくなり、非発光再結合が低減した。

【0055】前述のように、反射鏡と活性領域との界面に  $Al$  を含まない構成とする、すなわち非発光再結合防止層を設けることを、上下反射鏡ともに適用することが好ましいが、一方の反射鏡に適用するだけでも効果がある。またこの例では、上下反射鏡とも半導体分布ブラッグ反射鏡としたが、一方の反射鏡を半導体分布ブラッグ反射鏡とし、他方の反射鏡を誘電体反射鏡としても良い。

【0056】また前述の例では、反射鏡低屈折率層の最も活性層に近い層のみを  $Ga_xIn_{1-x}PyAs_{1-y}$  ( $0 < x < 1$ ,  $0 < y \leq 1$ ) の非発光再結合防止層としているが、複数層の  $Ga_xIn_{1-x}PyAs_{1-y}$  ( $0 < x < 1$ ,  $0 < y \leq 1$ ) を非発光再結合防止層としても良い。

【0057】さらにこの例では、 $GaAs$  基板と活性層との間の下部反射鏡にこの考えを適用し、活性層の成長時に問題となる、 $Al$  に起因する結晶欠陥の活性層への

12

這い上がりによる悪影響が押さえられ、活性層を高品質に結晶成長することができる。これらにより、発光効率が高く、信頼性は実用上十分な面発光型半導体レーザが得られた。また、半導体分布ブラッグ反射鏡の低屈折率層のすべてではなく、少なくとも活性領域に最も近い部分を  $Al$  を含まない  $Ga_xIn_{1-x}PyAs_{1-y}$  ( $0 < x < 1$ ,  $0 < y \leq 1$ ) 層としただけなので、反射鏡の積層数を特に増加させることなく、上記効果を得ることができている。

10 【0058】このようにして製作した面発光型半導体レーザの発振波長は約  $1.2 \mu m$  であった。 $GaAs$  基板上の  $GaInAs$  は、 $In$  組成の増加で長波長化するが歪み量の増加をとめない、従来  $1.1 \mu m$  までが長波長化の限界と考えられていた(文献「IEEE Photonics Technol. Lett. Vol. 9 (1997) pp. 1319-1321」参照)。

【0059】しかしながら今回発明者が製作したように、 $600^\circ C$  以下の低温成長などの非平衡度の高い成長法により高歪の  $GaInAs$  量子井戸活性層を従来より  
20 厚くコヒーレント成長することが可能となり、波長は  $1.2 \mu m$  まで到達できた。なおこの波長は  $Si$  半導体基板に対して透明である。従って  $Si$  基板上に電子素子と光素子を集積した回路チップにおいて  $Si$  基板を通した光伝送が可能となる。

【0060】以上の説明より明らかなように  $In$  組成が大きい高圧縮歪の  $GaInAs$  を活性層に用いることにより、 $GaAs$  基板上に長波長帯の面発光型半導体レーザを形成できることがわかった。

30 【0061】なお前述のように、このような面発光型半導体レーザは、MOCVD 法で成長させることができるが、MBE 法等の他の成長方法を用いることもできる。また活性層の積層構造として、3 重量量子井戸構造(TQW)の例を示したが、他の井戸数の量子井戸を用いた構造(SQW, MQW)等を用いることもできる。

【0062】レーザの構造も他の構造にしてもかまわない。また共振器長は  $\lambda$  の厚さとしたが  $\lambda/2$  の整数倍とすることができる。望ましくは  $\lambda$  の整数倍である。また半導体基板として  $GaAs$  を用いた例を示したが、 $InP$  などの他の半導体基板を用いた場合でも上記の考え方を適用できる。反射鏡の周期は他の周期でも良い。

40 【0063】なおこの例では活性層として、主たる元素が  $Ga$ 、 $In$ 、 $As$  よりなる層、すなわち  $Ga_xIn_{1-x}As$  ( $GaInAs$  活性層)の例を示したが、より長波長のレーザ発振を行うためには、 $N$  を添加し主たる元素が  $Ga$ 、 $In$ 、 $N$ 、 $As$  からなる層( $GaInNAs$  活性層)とすればよい。

50 【0064】実際に  $GaInNAs$  活性層の組成を変えることにより、 $1.3 \mu m$  帯、 $1.55 \mu m$  帯のそれぞれにおいて、レーザ発振を行うことが可能であった。組成を検討することにより、さらに長波長の例えば  $1.7$

(8)

13

$\mu\text{m}$ 帯の面発光レーザも可能となる。

【0065】また、活性層にGaAsSbを用いてもGaAs基板上に1.3 $\mu\text{m}$ 帯面発光レーザを実現できる。このように波長1.1 $\mu\text{m}$ ~1.7 $\mu\text{m}$ の半導体レーザは従来適した材料がなかったが、活性層に高歪のGaInAs、GaInNAs、GaAsSbを用い、かつ、非発光再結合防止層を設けることにより、従来安定発振が困難であった波長1.1 $\mu\text{m}$ ~1.7 $\mu\text{m}$ 帯の長波長領域において、高性能な面発光レーザを実現できるようになった。

【0066】次に本発明の光送受信システムに適用される発光素子である長波長帯面発光型半導体レーザの他の構成について、図3を用いて説明する。

【0067】この場合も図1の場合と同様に面方位(100)のn-GaAs基板を使用している。それぞれの媒質内における発振波長 $\lambda$ の1/4倍の厚さ( $\lambda/4$ の厚さ)でn-Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As( $x=0.9$ )とn-Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As( $x=0$ )を交互に35周期積層したn-半導体分布ブラッグ反射鏡(Al<sub>0.9</sub>Ga<sub>0.1</sub>As/GaAs下部反射鏡)を形成し、その上に $\lambda/4$ の厚さのn-Ga<sub>x</sub>In<sub>1-x</sub>PyAs<sub>1-y</sub>( $x=0.5$ ,  $y=1$ )層を積層した。この例ではn-Ga<sub>x</sub>In<sub>1-x</sub>PyAs<sub>1-y</sub>( $x=0.5$ ,  $y=1$ )層も下部反射鏡の一部であり低屈折率層となっている。

【0068】そしてその上に、アンドープ下部GaAsスペーサ層と、3層のGa<sub>x</sub>In<sub>1-x</sub>NyAs<sub>1-y</sub>量子井戸層である活性層(量子井戸活性層)とGaAsバリア層(15nm)から構成される多重量子井戸活性層(この例では3重量子井戸(TQW))と、アンドープ上部GaAsスペーサ層とが積層されて、媒質内における発振波長の1波長分の厚さ( $\lambda$ の厚さ)の共振器を形成している。

【0069】さらにその上に、p-半導体分布ブラッグ反射鏡(上部反射鏡)が形成されている。

【0070】上部反射鏡は、被選択酸化層となるAlAs層を、GaInP層とAlGaAs層で挟んだ $3\lambda/4$ の厚さの低屈折率層(厚さが( $\lambda/4-15\text{nm}$ )のCドープp-Ga<sub>x</sub>In<sub>1-x</sub>PyAs<sub>1-y</sub>( $x=0.5$ ,  $y=1$ )層、Cドープp-Al<sub>z</sub>Ga<sub>1-z</sub>As( $z=1$ )被選択酸化層(厚さ30nm)、厚さが( $2\lambda/4-15\text{nm}$ )のCドープp-Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As層( $x=0.9$ ))と、厚さが $\lambda/4$ のGaAs層(1周期)と、Cドープのp-Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As層( $x=0.9$ )とp-Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As( $x=0$ )層をそれぞれの媒質内における発振波長の1/4倍の厚さで交互に積層した周期構造(22周期)とから構成されている半導体分布ブラッグ反射鏡(Al<sub>0.9</sub>Ga<sub>0.1</sub>As/GaAs上部反射鏡)である。

【0071】なおこの例においても、図3では複雑になるので図示することは省略しているが、半導体分布ブラッグ反射鏡の構造は、図2に示したような低屈折率層

14

(屈折率小の層)と高屈折率層(屈折率大の層)の間に、屈折率が小と大の間の値をとる材料層Al<sub>z</sub>Ga<sub>1-z</sub>As( $0 \leq y < z < x \leq 1$ )を設けたものである。

【0072】そして、最上部の、p-Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As( $x=0$ )層は、電極とコンタクトを取るためのコンタクト層(p-コンタクト層)としての役割も持たせている。

【0073】ここで量子井戸活性層のIn組成 $x$ は37%、N(窒素)組成は0.5%とした。また量子井戸活性層の厚さは7nmとした。

【0074】またこの面発光型半導体レーザの成長方法はMOCVD法で行った。半導体レーザの各層を構成する原料には、TMA(トリメチルアルミニウム)、TMG(トリメチルガリウム)、TMI(トリメチルインジウム)、AsH<sub>3</sub>(アルシン)、PH<sub>3</sub>(フォスフィン)、そして窒素の原料にはDMHy(ジメチルヒドラジン)を用いた。DMHyは低温で分解するので600℃以下のような低温成長に適しており、特に低温成長の必要な歪みの大きい量子井戸層を成長する場合に好ましい。なおキャリアガスにはH<sub>2</sub>を用いた。

【0075】またこの例では、GaInNAs層(量子井戸活性層)は540℃で成長した。MOCVD法は過飽和度が高くNと他のV族を同時に含んだ材料の結晶成長に適している。またMBE法のような高真空を必要とせず、原料ガスの供給流量や供給時間を制御すれば良いので量産性にも優れている。

【0076】さらにこの例では、所定の大きさのメサ部分をp-Ga<sub>x</sub>In<sub>1-x</sub>PyAs<sub>1-y</sub>( $x=0.5$ ,  $y=1$ )層に達するまで、p-Al<sub>z</sub>Ga<sub>1-z</sub>As( $z=1$ )被選択酸化層の側面を露出させて形成し、側面の現れたAl<sub>z</sub>Ga<sub>1-z</sub>As( $z=1$ )層を水蒸気で側面から酸化してAl<sub>x</sub>O<sub>y</sub>電流狭さく層を形成している。

【0077】最後にポリイミド(絶縁膜)でメサエッチングで除去した部分を埋め込んで平坦化し、上部反射鏡上のポリイミドを除去し、p-コンタクト層上に光出射部を除いてp側電極を形成し、GaAs基板の裏面にn側電極を形成した。

【0078】この例においては、被選択酸化層の下部に上部反射鏡の一部としてGa<sub>x</sub>In<sub>1-x</sub>PyAs<sub>1-y</sub>( $0 < x < 1$ ,  $0 < y \leq 1$ )層が挿入している。例えばウェットエッチングの場合では、硫酸系エッチャントを用いれば、AlGaAs系に対してGaInPAs系はエッチング停止層として用いることができるため、Ga<sub>x</sub>In<sub>1-x</sub>PyAs<sub>1-y</sub>( $0 < x < 1$ ,  $0 < y \leq 1$ )層が挿入されていることで、選択酸化のためのメサエッチングの高さを厳密に制御できる。このため、均一性、再現性を高められ、低コスト化が図れる。

【0079】またこの例の面発光型半導体レーザ(素子)を一次元または二次元に集積した場合、素子製作時における制御性が良好になることにより、アレイ内の各

(9)

15

素子の素子特性の均一性、再現性も極めて良好になるという効果がある。

【0080】なおこの例では、エッチングストップ層を兼ねる $Ga_xIn_{1-x}PyAs_{1-y}$  ( $0 < x < 1$ ,  $0 < y \leq 1$ ) 層を上部反射鏡側に設けたが、下部反射鏡側に設けても良い。

【0081】またこの例においても、上下反射鏡に挟まれた、キャリアが注入され再結合する活性領域（本実施例では上部および下部スペーサ層と多重量子井戸活性層とからなる共振器）において、活性領域内にはA1を含んだ材料を用いず、さらに下部および上部反射鏡の低屈折率層の最も活性層に近い層を $Ga_xIn_{1-x}PyAs_{1-y}$  ( $0 < x < 1$ ,  $0 < y \leq 1$ ) の非発光再結合防止層としている。つまりこの例では、活性領域内および反射鏡と活性領域との界面に、A1を含まない構成としているので、キャリア注入時に、A1に起因していた結晶欠陥が原因となる非発光再結合を低減させることができる。

【0082】なお反射鏡と活性領域との界面にA1を含まない構成を、この例のように上下反射鏡に適用することが好ましいが、いずれか一方の反射鏡に適用するだけでも効果がある。またこの例では、上下反射鏡とも半導体分布ブラッグ反射鏡としたが、一方の反射鏡を半導体分布ブラッグ反射鏡とし、他方の反射鏡を誘電体反射鏡としても良い。

【0083】さらにこの例でも、GaAs基板と活性層との間の下部反射鏡に図1の例の場合と同様の考えを適用したので、活性層の成長時に問題となるA1に起因する結晶欠陥の活性層への這い上がりによる悪影響が押さえられ、活性層を高品質に結晶成長することができる。

【0084】なお、このような非発光再結合防止層は、図1、図3のいずれの構成においても半導体分布ブラッグ反射鏡の一部を構成するので、その厚さは、媒質内における発振波長 $\lambda$ の $1/4$ 倍の厚さ ( $\lambda/4$ の厚さ) としている。あるいはそれを複数層も設けても良い。

【0085】以上の説明より明らかなように、このような構成により、発光効率は高く、信頼性は実用上十分な面発光型半導体レーザが得られた。また、半導体分布ブラッグ反射鏡の低屈折率層のすべてではなく、少なくとも活性領域に最も近い部分をA1を含まない $Ga_xIn_{1-x}PyAs_{1-y}$  ( $0 < x < 1$ ,  $0 < y \leq 1$ ) の非発光再結合防止層とただけなので、反射鏡の積層数を特に増加させることなく、上記効果を得ることができた。

【0086】またこのような構成にしても、ポリイミドの埋め込みは容易であるので、配線（この例ではp側電極）が段切れしにくく、素子の信頼性は高いものが得られる。このように製作した面発光型半導体レーザの発振波長は約 $1.3 \mu m$ であった。

【0087】この例では、主たる元素がGa、In、N、Asからなる層を活性層に用いた（GaInNAs活性層）ので、GaAs基板上に長波長帯の面発光型半

16

導体レーザを形成できた。またA1とAsを主成分とした被選択酸化層の選択酸化により電流狭さくを行ったので、しきい値電流は低かった。

【0088】被選択酸化層を選択酸化したA1酸化膜からなる電流狭さく層を用いた電流狭さく構造によると、電流狭さく層を活性層に近づけて形成することで電流の広がりを抑えられ、大気に触れない微小領域に効率良くキャリアを閉じ込めることができる。更に酸化してA1酸化膜となることで屈折率が小さくなり凸レンズの効果でキャリアの閉じ込められた微小領域に効率良く光を閉じ込めることができ、極めて効率が良くなり、しきい値電流は低減できる。また容易に電流狭さく構造を形成できることから、製造コストを低減できる。

【0089】以上の説明から明らかなように図3のような構成においても図1の場合と同様に、 $1.3 \mu m$ 帯の面発光型半導体レーザを実現でき、しかも低消費電力で低コストの素子が得られる。

【0090】なお、図3の面発光型半導体レーザも図1の場合と同様にMOCVD法で成長させることができるが、MBE法等の他の成長方法を用いることもできる。また窒素の原料に、DMHyを用いたが、活性化した窒素や $NH_3$ 等他の窒素化合物を用いることもできる。

【0091】さらに活性層の積層構造として3重量子井戸構造（TQW）の例を示したが、他の井戸数の量子井戸を用いた構造（SQW、DQW、MQW）等を用いることもできる。レーザの構造も他の構造にしてもかまわない。

【0092】また図3の面発光型半導体レーザにおいて、GaInNAs活性層の組成を変えることで、 $1.55 \mu m$ 帯、更にはもっと長波長の $1.7 \mu m$ 帯の面発光型半導体レーザも可能となる。GaInNAs活性層にTl、Sb、Pなど他のIII-V族元素が含まれていてもかまわない。また活性層にGaAsSbを用いても、GaAs基板上に $1.3 \mu m$ 帯の面発光型半導体レーザを実現できる。

【0093】なお活性層にGaInAsを用いた場合、従来 $1.1 \mu m$ までが長波長化の限界と考えられていたが、 $600^\circ C$ 以下の低温成長により高歪のGaInAs量子井戸活性層を従来よりも厚く成長することが可能となり、波長は $1.2 \mu m$ まで到達できる。このように、波長 $1.1 \mu m \sim 1.7 \mu m$ の半導体レーザは従来適した材料がなかったが、活性層に高歪のGaInAs、GaInNAs、GaAsSbを用い、かつ非発光再結合防止層を設けることにより、従来安定発振が困難であった波長 $1.1 \mu m \sim 1.7 \mu m$ 帯の長波長領域において、高性能な面発光レーザを実現できるようになり、光通信システムへの応用ができるようになった。

【0094】図4はこのような長波長帯面発光半導体レーザ素子を、面方位（100）のn-GaAsウエハに多数のチップとして形成した例、ならびにレーザ素子チ



(10)

17

ップを示したものである。こので示したレーザ素子チップには、1～n個のレーザ素子が形成されているが、その個数nはその用途に応じて、数ならびに配列方法が決められる。

【0095】長波長帯面発光半導体レーザを用いた光通信システムの一例として、半導体レーザとその光出力を光通信用とモニタ用とにそのエネルギー比率を変えて分岐する分岐手段であるミラー、モニタ用受光素子との関係を示す模式図を図5に示す。なお、この図5および後述の図7、図8も同様であるが、紙面に対して垂直方向に複数個のレーザ素子がアレイ状にそしてそれに対応して光導波路も複数個設けた構成となっている（図では1個しか示していない）。通信システムは、面発光型半導体レーザとその駆動回路を有する光送信部、面型受光素子とその駆動回路を有する光受光部、およびそれらの間の伝送経路として作用する光ファイバまたは光導波路からなっている。ここでは、半導体レーザおよび面型受光素子の駆動回路は図示しないが、それぞれの素子と同一の実装基板上に実装しているか、あるいは半導体レーザ素子形成基板にウエハプロセスにより、レーザ素子形成と同様に作り込んでいる。また、光伝送経路の両側に、光送信部と光受光部（ここでいっている光受光部は上記モニタ用受光部とは別物である。図示はしていない。）を備えることで、双方向の通信を行う光通信システムが実現できる。

【0096】図5に示すように長波長帯面発光レーザアレイ素子の一方の面から出射されたレーザ光は、ミラーで分岐され、光軸を合わせた光ファイバまたは光導波路に導かれる。ミラーで分岐されたもう一方の光は、モニタ用受光素子に導かれる。ここで、このレーザ光を分岐するミラーは、半導体レーザの出力をモニタし、モニタ用受光素子の出力を用いて半導体レーザの出力を制御するため、モニタ用受光素子側に分岐される光強度は、受光素子の感度内で小さい方がよく、光通信システムの消費電力などを考慮すると、分岐された光の多くは、データを光信号として伝送する伝送経路としての光ファイバや光導波路側に分岐されるのが好ましい。そのために、本発明に用いる1.1～1.7μmの波長の範囲において、AuやAg、Alなどの金属薄膜の膜厚を制御して透過率を制御したミラーを用いることができる。また、同様に十分厚い金属膜を用い、全反射する条件において、その反射面に溝や円、正方形など各種形状の開口部を設け、透過率を制御したミラーを用いても良い。この場合、光による干渉をさけるために、溝のピッチや開口部のサイズをランダムにする、また、開口の配置をランダムにした方がよい。更に、誘電体や半導体多層膜によって、透過率を制御したミラーを用いても良い。

【0097】従来の端面発光型半導体レーザに比べ、本発明の光通信システムに使用される発振波長が1.1μm～1.7μmの面発光型半導体レーザは、温度による

18

光出力の変動が小さく、経時変化の少なく非常に安定したレーザであるが、より信頼性の高い光通信システムを形成するには、半導体レーザ出力をモニタしてその出力を制御した方がよい。従来、端面発光型半導体レーザでは、後方劈開面からもレーザ光が放出されるため、この光をモニタすることによって半導体レーザ出力を制御することが知られているが、本実施例のような面発光型半導体レーザを用いたシステムでは、レーザ出力は、半導体レーザの一方の面からだけであり、従来のようなモニタ受光素子の配置は取れない。また、本発明のシステムに使用される発振波長が1.1μm～1.7μmの面発光型半導体レーザでは、光放射角は10度程度と非常に小さく、半導体レーザを光ファイバや光導波路に近接させることで、カップリングレンズを用いずに光結合させることができるが、モニタ用受光素子を挿入することはできない。本発明では、上記のようなミラーを用いることで、半導体レーザと光ファイバまたは光導波路間の光路長を大きくすることなく、半導体レーザの光出力をモニタし、半導体レーザの光出力を制御できる。また、ミラーを用いて光軸を折り曲げているため、半導体レーザ面と光ファイバまたは光導波路の光軸が平行となり、半導体レーザおよび光ファイバまたは光導波路がモジュールの面に対して平行に固定できるため、固定しやすく、強固に固定できる利点もある。また、光通信システムのモジュールとしては大きくなるが、半導体レーザの光軸に対して、ミラーの前後にカップリングレンズを用いてもよい。

【0098】なお前述のように図示しないが、本発明では、複数個のレーザ素子およびこれに対応した光導波路（この例では光ファイバ）が用いられるが、分岐手段としてのミラーは、共通の1つのミラー（図5の紙面に対して垂直方向にのびた共通ミラー）を用いることができる。これにより、このような半導体レーザ素子群、モニタ用受光素子群および光の分岐手段よりなるユニットのコンパクト化、低コスト化を実現できる。

【0099】図6にこのように分岐したレーザ光を用いて、半導体レーザの出力を制御するブロック図を示す。電気信号としてのデータおよびクロックが入力された駆動回路によって、半導体レーザが駆動され、そこから放出されたレーザ光の一部はミラーで分岐され、モニタ用受光素子に導かれる。ここで光強度として検出され、その出力が一定になるようにレーザ出力制御部によって制御される。駆動回路は、本発明のシステムに使用される半導体レーザは発振電圧が低しきい値であるため、低消費電力の点でCMOSを用いることが好ましいが、バイポーラを用いても良い。また、モニタ用受光素子は、本発明の波長域が1.1～1.7μmであるため、InGaAs材料のフォトダイオードを用いることができる。経時変化や温度変化によるレーザ光の変動は時間的に緩やかな変化であるため、応答速度は低くとも高感度のフォトダイオ

(11)

19

ードでも良い。

【0100】再度図5に戻って、実施例について説明する。図2に示す長波長帯面発光型半導体レーザを4個並べたレーザアレイ素子と図示していない駆動回路およびレーザ出力制御部を熱伝導性の良いSiの実装基板上に実装した。なお、4個の半導体レーザ素子は1枚のチップ上にその配列ピッチを200 $\mu$ mとして形成したもので、発振波長は、1.3 $\mu$ mのものを使用した。ついで、熱伝導性がよく、1.3 $\mu$ mの光に対して透明なSiを用いて、分岐手段としてのミラーを形成する。使用したSiは単結晶Siであり、最終的に異方性エッチングによって形成されるミラー面を考慮して、ウェハの結晶軸に対する切り出し面を決定している。なおエッチャントはKOHを用いた。このようにして45度のミラー面を実装基板とモノリシックに形成し、傾斜面にAuを蒸着した後、光導波路を形成した。Au膜厚をかって、波長1.3 $\mu$ mのレーザ光の透過率を制御した。光導波路は、クラッドを形成した後、コアにポリメチルメタクリレート(PMMA)を用い、パターニングを行い、上層にクラッド層を形成した。コアのサイズは50 $\times$ 50 $\mu$ mとした。この導波路は、モジュール形成後、図示していない光ファイバと光結合し、長距離通信システムをなしている。光導波路として、PMMAの他に、ポリイミドやエポキシ樹脂、ポリウレタンやポリエチレンなどのポリマー導波路やシリコン酸化膜などの無機膜も用いることができる。また、形成方法もスピンコートやディップコートなどの塗布とパターニングを組み合わせた、樹脂モールドや金型加工によるものなどが用いられる。半導体レーザの光軸と光導波路の光軸を一致させ、各々の実装基板を固定し、ミラー面が形成されている実装基板に分岐された光軸にあわせて受光素子である面入射型フォトダイオードを固定した。ここでは、InP基板上にバッファ層を設けた上に光吸収層としてInGaAs層をもつフォトダイオードを用いた。受光素子の出力をボンディングによってレーザ出力制御部に電氣的に接続し、半導体レーザの出力を制御した。

【0101】以下に外部の温度を変えた場合の検討結果を示す。この結果は20 $^{\circ}$ Cの場合のものである。実際には0 $^{\circ}$ C~70 $^{\circ}$ Cまで10 $^{\circ}$ Cずつ変えて調べたが、結果は20 $^{\circ}$ Cの場合とほとんど同じであったので、ここではこのデータのみに示す。

【0102】

【表1】

20

ミラー透過率[%]	評価
0.1	×
0.2	×
0.3	×
0.5	△
0.7	△
1.0	○
2.0	○
5.0	○
10	○
20	○
30	○
40	○
50	○
60	△
70	×

評価記号：

○実使用に耐える

△実使用にやや難あり

×実使用不可

【0103】この様に、透過率が1%より小さい場合には、通信のmWレベルに対して10 $\mu$ Wレベルの光がモニターされるが、変動のレンジはそれよりも小さいため、レーザ出力の変動を検出し制御するのに十分な光が受光素子側へ導かれず、半導体レーザの出力に変動が見られる。一方、透過率が50%を超える領域では、信号伝送に比べ、半導体レーザの出力を制御する側のエネルギー消費が大きく、システムとして効率の悪いものとなった。なお実際のシステムとして使用する場合には透過率が、2%以上30%以下がシステム設計上好ましい。従って、この様な構成にすることによって、コンパクトなモジュールで、外部の温度変化によらず、レーザ出力を安定に制御できるため、信頼性の高い光通信システムを構築できた。また、その場合の半導体レーザからの光出力を分岐するミラーの光透過率を1%以上50%以下にすることが実用的であることがわかった。

【0104】ここでは、半導体素子数を4個としたが、1個でも、また、8、12、16個など送信するデータによって適宜必要な数でかまわない。また、光導波路に光結合させたが、光ファイバを用いてもよく、遠距離で、大容量の情報を転送するにはシングルモードファイバが適しており、近距離で低コストにするにはプラスチック光ファイバ(POF)が適しており、また両者のバランスの取れた領域にはマルチモードファイバが適しており、適宜使用できる。

【0105】次に、本発明の別の実施例として、受光素子の電極とミラーを一体に形成した例を図7に示す。図1に示す長波長帯面発光型半導体レーザ素子をSi基板上に図示していない駆動回路およびレーザ出力制御部とともに実装した。なお、発振波長は、1.2 $\mu$ mのものを使用した。一方、実施例1同様モニタ用受光素子としてGaAsP材料を用いたフォトダイオードを用い、その光検出面のp型電極と反射ミラーかねたミラーを形成する。

(12)

21

1.  $2\mu\text{m}$ の光が透過しない厚さ $300\text{nm}$ のAu膜を蒸着し、 $0.7\sim 5\mu\text{m}$ 径のランダムな円状の開口を形成し、ミラーの透過率を $5\%$ とした。レーザ素子に対して、 $45$ 度の角度で固定し、この出力をレーザ出力制御部に電気的に接続し、半導体レーザ出力のレーザ出力を制御した。一方、このミラーを介したレーザ光の光軸とコア径 $50\mu\text{m}$ 、クラッド径 $125\mu\text{m}$ のマルチモードファイバの光軸とを一致させて光学的に接続し、光通信システムを構築した。この様な構成にすることで、部品点数が少なくコンパクトなモジュールを形成でき、また、レーザ出力を安定に制御できるため、信頼性の高い光通信システムを構築できる。

【0106】ここでは、モニタ用受光素子の電極とミラーかねて一体に形成したが、モニタ用受光素子の表面に形成し、単にミラーとしての機能しかなく、電極などのようにモニタ用受光素子の構成部分をかねなくても良い。

【0107】次に、本発明の別の実施例として、光導波路端面にミラーを形成した例を図8に示す。図2に示す長波長帯面発光型半導体レーザアレイ素子をSi基板上に図示していない駆動回路およびレーザ出力制御部とともに実装した。なお、レーザ素子数は、4個で、そのピッチは、 $200\mu\text{m}$ 、発振波長は、 $1.3\mu\text{m}$ のものを使用した。実施例1同様に、基板上に光導波路を形成した。光導波路は、クラッドを形成した後、コアにフッ素化ポリイミドを用い、パターンニングを行い、上層にクラッド層を形成した。コアのサイズは $50\times 50\mu\text{m}$ とした。この導波路は、モジュール形成後、図示していない光ファイバと光結合し、長距離通信システムをなしている。光導波路として、ポリイミドの他に、PMMAやエポキシ樹脂、ポリウレタンやポリエチレンなどのポリマー導波路やシリコン酸化膜などの無機膜も用いることができる。また、形成方法もスピンコートやディップコートなどの塗布とパターンニングを組み合わせたり、樹脂モールドや金型加工によるものなどが用いられる。この導波路をダイヤモンドブレードを用いて、端面を $45$ 度に加工し、端面にAuを蒸着し、ミラーとしての透過率を $3\%$ とした。この様な光導波路と半導体レーザを光軸を一致させて光学的に結合させ、ミラーによって分岐された光軸上にモニタ用受光素子を固定し、その出力をレーザ出力制御部に電気的に接続し、レーザ出力を制御できる光通信システムを構築した。この様な構成にすることで、部品点数が少なくコンパクトなモジュールを形成でき、また、レーザ出力を安定に制御できるため、信頼性の高い光通信システムを構築できる。

【0108】

【発明の効果】（請求項1に対応した効果）コンピュータ・ネットワーク、長距離大容量通信の幹線系など光ファイバ通信が期待されているレーザ発振波長が $1.1\mu\text{m}$ 帯 $\sim 1.7\mu\text{m}$ 帯の分野において、動作電圧、発振

22

閾値電流等を低くでき、レーザ素子の発熱も少なく安定した発振ができる面発光型半導体レーザおよびそれを用いた通信システムが存在しなかったが、本発明のように半導体分布ブラッグ反射鏡を工夫することにより、動作電圧、発振閾値電流等を低くでき、レーザ素子の発熱も少なく安定した発振ができ、また低コストで実用的な光通信システムが実現できた。

【0109】さらに、半導体レーザからの光出力をモニタし、経時変化や温度変化による光出力の変動を制御することによって、光出力が安定し信頼性の高い光通信システムが実現できた。

【0110】（請求項2に対応した効果）コンピュータ・ネットワーク、長距離大容量通信の幹線系など光ファイバ通信が期待されているレーザ発振波長が $1.1\mu\text{m}$ 帯 $\sim 1.7\mu\text{m}$ 帯の分野において、安定して使用できる長波長帯面発光半導体レーザおよびそれを用いた通信システムが存在しなかったが、本発明のように、非発光再結合防止層を設けてなる面発光型半導体レーザ素子チップとすることにより安定した発振が可能となり、これを発光光源とした実用的な光通信システムが実現できた。

【0111】さらに、半導体レーザからの光出力をモニタし、経時変化や温度変化による光出力の変動を制御することによって、光出力が安定し信頼性の高い光通信システムが実現できた。

【0112】（請求項3に対応した効果）このような光通信システムにおいて、半導体レーザからの光出力を分岐するミラーの光透過率を $1\%$ 以上 $50\%$ 以下にすることによって、モニタ用受光素子に半導体レーザ光出力を制御するのに十分な光を分岐しつつ、効率の高い光通信システムを実現できた。

【0113】（請求項4に対応した効果）このような光通信システムにおいて、半導体レーザからの光出力を分岐するミラーを光ファイバまたは光導波路を固定する実装基板とモノリシックに形成することで、部品点数が少なくコンパクトな光通信システムを実現できた。

【0114】（請求項5に対応した効果）このような光通信システムにおいて、分岐手段を共通的に設けられた構造としたので、部品点数が少なく、また分岐手段を個々のレーザ素子あるいは光導波路と一つ一つ行う必要もなく、アセンブリコストの低減がはかれ、コンパクト低コスト光通信システムを実現できた。

【0115】（請求項6に対応した効果）このような光通信システムにおいて、半導体レーザからの光出力を分岐するミラーを受光素子の一部とするまたはその表面に形成することによって、部品点数が少なくコンパクトな光通信システムを実現できた。

【0116】（請求項7に対応した効果）このような光通信システムにおいて、半導体レーザからの光出力を分岐するミラーを光ファイバまたは光導波路端面に形成す

(13)

23

ことで、光路長が小さく、部品点数が少なくコンパクトな光通信システムを実現できた。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施形態に係る長波長帯面発光半導体レーザの素子部の断面図である。

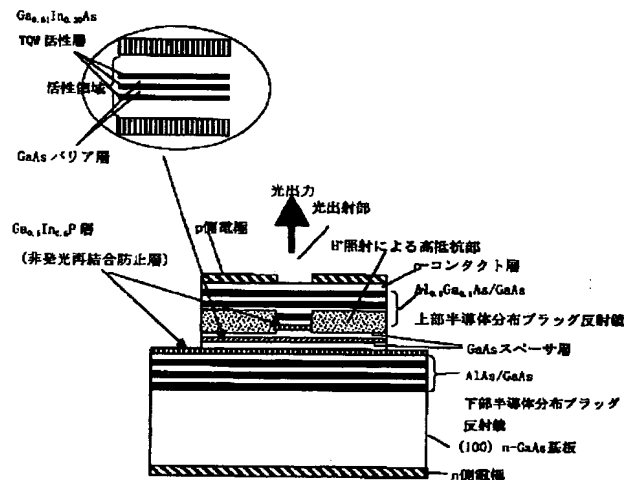
【図2】本発明の一実施形態に係る長波長帯面発光半導体レーザの半導体分布ブラッグ反射鏡の構成の部分断面を示す図である。

【図3】本発明の一実施形態に係る長波長帯面発光半導体レーザの他の構成の素子部の断面図である

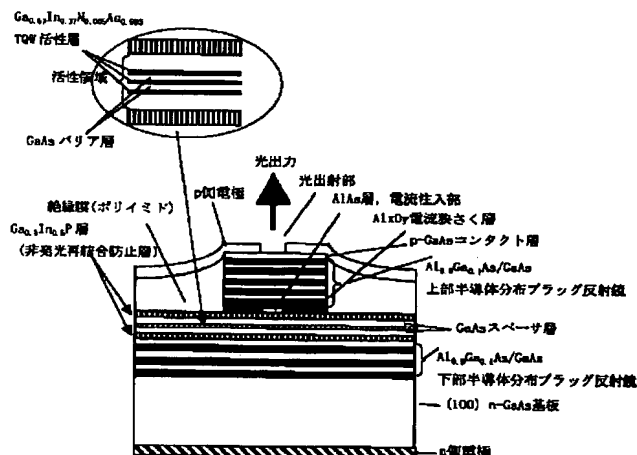
【図4】本発明の一実施形態に係る長波長帯面発光半導体レーザ素子を形成したウエハ基板ならびにレーザ素子チップを示す平面図である。

【図5】本発明の一実施形態に係る長波長帯面発光半導体レーザ素子を用いた光通信システムの半導体レーザと

【図1】



【図3】



24

ミラーおよびモニタ用受光素子の関係を示す模式図である。

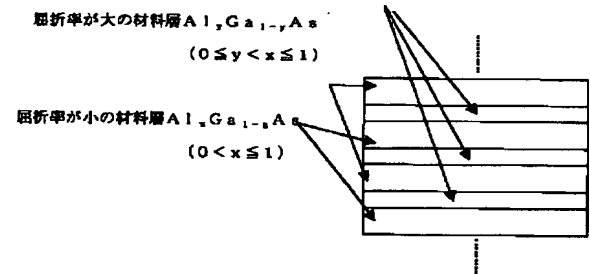
【図6】本発明の一実施形態に係る長波長帯面発光半導体レーザ素子を用いた光通信システムのモニタ用受光素子の出力を用いて半導体レーザの出力を制御するブロック図である。

【図7】本発明の一実施形態に係る長波長帯面発光半導体レーザ素子を用いた光通信システムの半導体レーザとミラーおよびモニタ用受光素子の関係を示す模式図である。

【図8】本発明の一実施形態に係る長波長帯面発光半導体レーザ素子を用いた光通信システムの半導体レーザとミラーおよびモニタ用受光素子の関係を示す模式図である。

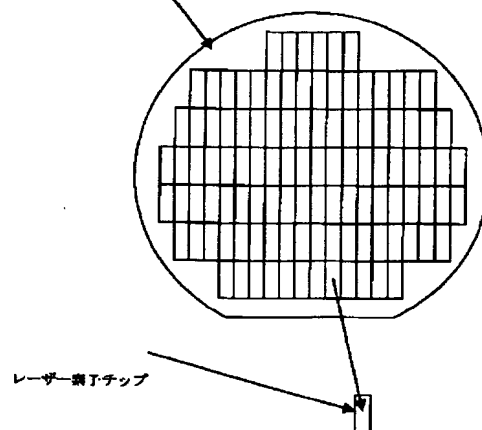
【図2】

屈折率が小と大の間の値をとる材料層  $Al_yGa_{1-y}As$  ( $0 \leq y < z < x \leq 1$ )



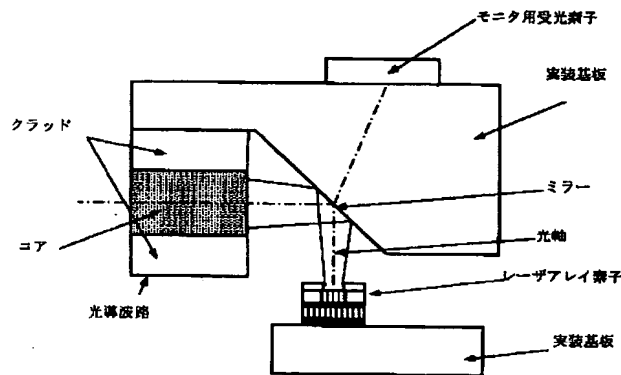
【図4】

レーザ素子を形成した (100) n-GaAs ウエハ

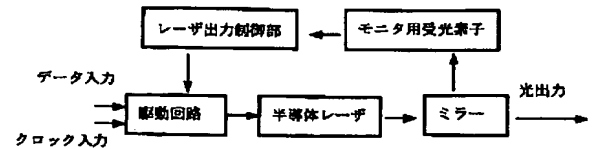


(14)

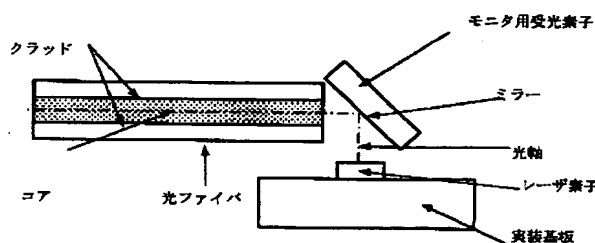
【図 5】



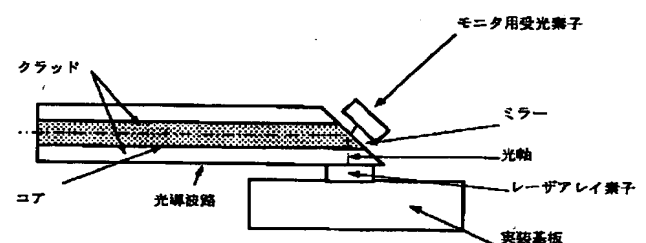
【図 6】



【図 7】



【図 8】



フロントページの続き

(72)発明者 古田 輝幸  
東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式  
会社リコー内

(72)発明者 宮垣 一也  
東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式  
会社リコー内

(72)発明者 金井 健  
東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式  
会社リコー内

(72)発明者 和多田 篤行  
東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式  
会社リコー内

(72)発明者 佐藤 俊一  
東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式  
会社リコー内

(72)発明者 菅原 悟  
東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式  
会社リコー内

(72)発明者 曳地 秀一  
東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式  
会社リコー内

(72)発明者 関谷 卓朗  
東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式  
会社リコー内

(72)発明者 佐藤 新治  
東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式  
会社リコー内

F ターム(参考) 2H037 AA01 BA02 BA11 CA10 CA37  
DA03 DA04 DA06  
5F073 AA65 AB04 AB17 BA02 CA07  
CA17 EA15 FA02 FA04 FA06  
FA07